

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
FAKULTA TEXTILNÍ**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**LIBEREC 2010**

**RADEK SRNÍČEK**

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**  
**FAKULTA TEXTILNÍ**



Studijní program: B3107 Textil  
Studijní obor: 3107R007 Textilní marketing

**Bezformaldehydová nemačková úprava lůžkovin**  
**EASY CARE polykarboxylovými kyselinami**  
**Non-formaldehyde wrinkle-free EASY CARE finishing**  
**of bedlinens with polycarboxylic acids**

Radek Srníček

KHT-723

**Vedoucí bakalářské práce:** Ing. Vladimír Bajzík, Ph.D.

**Rozsah práce:**

Počet stran textu ...32

Počet obrázků .....6

Počet tabulek .....27

Počet grafů.....32

Počet stran příloh..8

Zadání bakalářské práce

(vložit originál)

### **Prohlášení**

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum

Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Vladimíru Bajzíkovi, Ph.D. za odborné vedení. Dále děkuji Ing. Lence Martinkové ze společnosti INOTEX spol. s r.o. za odborné konzultace a dobré připomínky k práci. A děkuji i vedení společnosti INOTEX spol. s r.o. za poskytnuté materiály a prostory k provedení praktické části mé bakalářské práce.

## **ANOTACE**

Práce se zabývá studií nemačkových úprav bavlněných lůžkovin polykarboxylovými kyselinami, se zaměřením na sledování mačkavosti, ztráty pevnosti a stupně běli v závislosti na aplikačních podmínkách. Dále se zabývá porovnáním výsledků s hodnotami dosaženými klasickou technologií nemačkových úprav, konkrétně DMDHEU.

### **KLÍČOVÁ SLOVA:**

Nemačková úprava, mačkavost, polykarboxylové kyseliny

## **ANNOTATION**

This bachelor thesis deals with a study of wrinkle-free finishing of cotton bedlinens by means of polycarboxylic acids. The main aim is to study the wrinkle resistance, the tensile strength loss and the whiteness degree depending on application conditions. It concerns also with a comparing of the results with values reached by use of common wrinkle-free finishing technology, concrete DMDHEU.

### **KEY WORDS:**

Wrinkle-free finishing, wrinkle resistance, polycarboxylic acid

## Obsah

Úvod .....	7
1. rešerše nemačkových úprav .....	7
1.1. Síťovací mechanismy .....	9
1.1.1. DMDHEU .....	9
1.1.2. DHDMI .....	10
1.1.3. Polykarboxylové kyseliny .....	10
1.2. Předprava bavlny enzymem s celulázovou aktivitou .....	12
2. Praktická část .....	12
2.1. Měřené parametry a metody měření .....	12
2.1.1. Pevnost, tažnost .....	12
2.1.2. Moisture management .....	12
2.1.3. Stupeň běli .....	13
2.1.4. Mačkavost .....	14
2.1.5. Pevnost v dotržení .....	14
2.1.6. Tuhost .....	14
2.2. Vyhodnocení výsledků .....	14
2.2.1. Zjišťování optimální koncentrace síťovacího prostředku .....	15
2.2.2. Zjišťování optimální teploty a času kondenzace .....	21
2.2.3. Vliv předúpravy enzymem s celulázovou aktivitou .....	31
2.2.4. Porovnání optimální úpravy kyselinou 1,2,3,4- BTCA s úpravou provedenou DMDHEU a původní nezušlechtěnou tkaninou .....	31
3. Závěr .....	38
Literatura .....	39
Přílohy .....	40
Tabulky naměřených hodnot pro zjištění optimální koncentrace .....	40
Kyselina citrónová .....	40
Kyselina 1,2,3,4- BTCA .....	42
DMDHEU .....	43
Tabulky naměřených hodnot pro porovnání optimální úpravy kyselinou 1,2,3,4- BTCA s DMDHEU a původní nezušlechtěnou tkaninou .....	45

## ÚVOD

V dnešní době získávají stále větší popularitu tzv. High IQ® úpravy. Jejich prvořadým úkolem je zvýšit přidanou hodnotu pro spotřebitele a celý zpracovatelský řetězec. High IQ® je první komplexní globální systém označení pro textilní barvy a úpravy. Označení High IQ® by mělo být synonymem pro inovaci a kvalitu. Vzhledem ke svým nárokům na úsporu času, vyžadují dnešní nároční spotřebitelé stále vyšší standardy z hlediska snadné údržby. Proto se tzv. EASY CARE úprava, jako jedna z High IQ® úprav, dostává do popředí spotřebitelského zájmu. V dnešní době se také více než dříve dbá na ochranu životního prostředí a zdravotní nezávadnost výrobků. Proto se dnes výrobci kvalitních produktů (platí nejen v textilu) zaměřují kromě získaných vlastností i na výše zmíněnou ochranu životního prostředí a maximální snížení zdravotních rizik, jak u spotřebitele, tak i u zaměstnanců ve výrobě. Z těchto důvodů se práce zaměřuje na nemačkovou úpravu bavlněných lůžkovin bezformaldehydovými prostředky, konkrétně kyselinami 1,2,3,4-butantetrakarboxylovou a kyselinou citrónovou a srovnáním s výsledky nemačkové úpravy provedené klasickým prostředkem s obsahem formaldehydu (DMDHEU).

## 1. REŠERŠE NEMAČKAVÝCH ÚPRAV

Trvalé zesílení molekul celulózy je jedním z největších objevů v textilní chemii všech dob. Jeho význam je zřejmý z velkého množství textilií s nemačkovou úpravou na trhu. Přes jejich velkou popularitu, je aplikace nemačkových úpravy na bázi nejpoužívanějšího síťovacího mechanismu DMDHEU doprovázena několika problémy, jako je ztráta pevnosti v tahu a v dotržení, zhoršení omaku, snížení odolnosti proti oděru a uvolňování formaldehydu během zpracování, skladování, nebo oděvní výrobě včetně zbytkového obsahu formaldehydu na upravené tkanině. Již dlouho je známo, že působení formaldehydu je potenciálně škodlivé pro zdraví. Mimo jeho zařazení mezi látky podezřelé na lidský karcinogen, může formaldehyd vyvolávat alergické kožní reakce, dýchací potíže nebo podráždění sliznic a jiných citlivých oblastí. S ohledem na tuto skutečnost, se začaly pro průmyslové využití vyvíjet produkty s nižším obsahem formaldehydu. To má za následek podstatné snížení obsahu formaldehydu ve výrobcích, za účelem snížení jeho působení na spotřebitele a pracovníky, kteří přicházejí s produkty do styku při výrobních procesech. V následující tabulce je uveden přehled prostředků používaných k nemačkové úpravě z hlediska obsahu formaldehydu.



<b>Vývoj nemačkových úprav z hlediska obsahu formaldehydu</b>	
<b>Obsah formaldehydu (ppm)</b>	<b>Používaný prostředek</b>
Vysoký obsah (2000 ppm)	Fenol-formaldehydové pryskyřice Melamino-formaldehydové pryskyřice Močovino-formaldehydové pryskyřice
Snížený obsah (500 ppm)	Dimethylolethylenmočovina (DMEU) Dimethyloldihydroxyethylenmočovina (DMDHEU)
Nízký obsah (50 – 300 ppm)	dimethyloldihydroxyethylenmočovina (DMDHEU) modifikovaná methylo- nebo glykolovými skupinami
Nulový obsah (0 ppm)	Dihydroxydimethylimidazolidinon (DHDMI) polykarboxylové kyseliny (PCA)

1 Tabulka vývoje nemačkových úprav z hlediska obsahu formaldehydu

V průběhu let bylo zkoumáno alternativní chemické složení tak, aby poskytovalo stejné výsledky při síťování pomocí chemických látek, které neobsahují formaldehyd. Mnohé z těchto pokusů nikdy nepostoupily z laboratorních testů do výroby z důvodu vyšší výkonnosti prostředků s obsahem formaldehydu. Bezformaldehydové nemačkové úpravy musí splňovat stejné fyzikální, estetické, a funkční vlastnosti, jako stávající síťovací prostředky za přijatelnou cenu.

Některé žádoucí vlastnosti síťovacích prostředků pro dnešní globální trh jsou shrnuty v následující tabulce. Nejnovější bezformaldehydové technologie, které jsou schopny konkurovat stávajícím síťovacím prostředkům na bázi formaldehydu, a zároveň splňují přísné požadavky na ekologii výroby, jsou polykarboxylové kyseliny.

<b>Vlastnosti síťovacích prostředků sloužící k získání kvalitní úpravy</b>	
<b>Hlediska</b>	<b>Předpoklady</b>
Technologická	Vysoká reaktivita
	Nízké ztráty pevnosti

	Vysoká odolnost proti vypírání
	Minimální vliv na omak
	Malý nebo žádný vliv na stupeň běli
Ekonomická	Možnost kombinace s dalšími úpravami
	Efektivnost z hlediska nákladů (pro výrobce i spotřebitele)
Ekologická	Bez formaldehydu
	Biologická rozložitelnost
	Obnovitelné zdroje

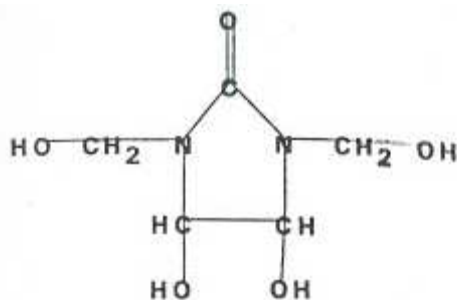
2 Tabulka žádoucích vlastností síťovacích prostředků

## 1.1. Síťovací mechanismy

Použití bezformaldehydové úpravy se liší od DMDHEU úpravy v mnoha aspektech, např. koncentrací, pH, teplotou kondenzace, použitými katalyzátory, a vhodnými pomocnými prostředky. K pochopení těchto rozdílů musíme pochopit síťovací mechanismy ukryté za nimi.

### 1.1.1. DMDHEU

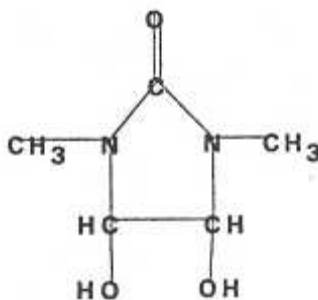
V případě dimethyloldihydroxyethylenmočoviny (DMDHEU), existují čtyři hlavní reakční centra umožňující zesílení řetězců celulózy. Jedná se o 2 methylol skupiny a 2 hydroxylové skupiny. Podle kondenzačních podmínek (teplota, čas) a za přítomnosti kyseliny Lewisové jako katalyzátoru reagují jako první methylolové skupiny a pak v menší míře také hydroxylové skupiny s hydroxylovými skupinami celulózy za vzniku éterových můstků mezi molekulami celulózy. Zesílení nahrazuje svou strukturou původní vodíkové můstky v celulózovém řetězci bavlny s mnohem silnější kovalentní vazbou. V případě neupravené bavlny způsobuje pomačkání rozbíjení těchto vodíkových vazeb, čímž dochází k přetváření struktury bavlny. V případě síťované bavlny však mechanické působení silnější kovalentní vazby nepřerušuje, což vede k napětí, kterého se bavlna zbavuje sama tím, že se vrátí do své původní plošné konfigurace. Tak se tvoří pevné (stabilní) propojení, takže vzniká tkanina s "pamětí". To znamená, že se stabilizuje konfigurace celulózových molekul vzhledem k ostatním molekulám, čímž dodává tkanině tvar stálý v procesu praní a sušení, protože omezuje možné smršťování nebo roztahování řetězců.



1 DMDHEU

### 1.1.2. DHDMI

Komerčně dostupné alternativy k DMDHEU fungují několika různými mechanismy s různým stupněm dosaženého efektu. Například 1,3-dimethyl 4,5-dihydroxy 2-imidazolidinon (DHDMI): jeho hydroxylové skupiny reagují s celulózu za vzniku stabilní éterické jednotky, která poskytuje obdobný, i když o něco nižší stupeň zesíťení s využitím stejných tříd katalyzátorů. To umožňuje použít podobnou technologii jaká je v průmyslu běžně využívána s nižší nebo podobnou kondenzační teplotou a obdobným kondenzačním časem, ale s poněkud nižším efektem, než se předpokládalo.



2 DHDMI

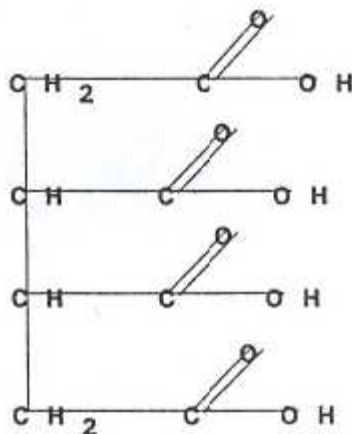
### 1.1.3. Polykarboxylové kyseliny

Nejnovější komerčně využitelný postup je síťování pomocí polykarboxylových kyselin. Prozkoumáno bylo několik chemikálií, včetně 1,2,3,4-butanetrakarboxylové kyseliny (BTCA), kyseliny citrónové (CA) a kyselina polymaleinové (PMA). Všechny polykarboxylové kyseliny potřebují vyšší teplotu kondenzace a katalyzátor obsahující fosfor, umožňující jejich navázání na celulózu vlákno. V tomto případě tvoří polykarboxylové kyseliny anhydrid mezi sousedními karboxylovými skupinami. Ten pak reaguje s hydroxylovou skupinou z celulózy za vzniku esterové vazby, která má vysokou pevnost a stabilitu. Tato technologie je založena na patentech vydaných U.S. Department of Agriculture a University of Georgia. Všechny tyto patenty jsou výhradním vlastnictvím Vulcan Performance Chemicals a BioLab Inc., což jsou společnosti tvořící Callaway-BioLab joint venture. [1] Co se týká použitých katalyzátorů, lepších výsledků dosahuje

úprava provedená pomocí slabě alkalické katalýzy fosforanem sodným oproti kyselé katalýze provedené pomocí kyseliny fosforené, při které dochází k vyššímu poškození substrátu (ztráta pevnosti) a dosažená nemačkovost je horší. [2] V následujících oddílech je přehled síťovacích mechanismů uveden podrobněji.

### Kyselina 1,2,3,4-butanetrakarboxylová

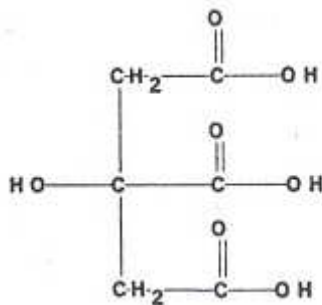
Kyselina 1,2,3,4-butanetrakarboxylová byla zjištěna jako vhodná sloučenina reagující za katalýzy určitými sloučeninami fosforu. Poskytuje podobný účinek jako DMDHEU, ale její cena je mírně vyšší. Tato kyselina je unikátní v tom, že obsahuje čtyři navzájem sousedící karboxylové skupiny na lineárním uhlovodíkovém řetězci. Vzhledem k tomu dochází k vytvoření anhydridových skupin z přilehlých karboxylových skupin. Tato kyselina má schopnost tvořit anhydridy v několika konfiguracích, které vedou k vytvoření nejméně dvou esterových můstků s molekulami obsahujícími hydroxylovou skupinu (jako je např. celulóza).



3 Kyselina 1,2,3,4-butanetrakarboxylová

### Kyselina citrónová

Kyselina citrónová byla v několika případech vyhodnocena jako levnější alternativa k BTCA, bylo však dokázáno, že nepřináší dostatečně dobré výsledky v případě použití jako samostatné složky při zušlechťování. [1]



4 Kyselina citrónová

## **1.2. Předprava bavlny enzymem s celulázovou aktivitou**

Zpracování bavlněné tkaniny enzymem s celulázovou aktivitou (celuláza) je účinná metoda ke zlepšení omaku a k odstranění povrchových vláken a žmolků z bavlněných tkanin. Celulázy katalyticky degradují molekuly celulózy. Jedná se zpravidla o směs tří hlavních typů celuláz: endoglukanázy (EG), cellobiohydrolázy (CBH) a cellobiázy (EC). Přístupnější pro působení celulozolytických enzymů je obast celulózov=ho vlákna s vyšší krystalinitou v porovnání s méně přístupným amorfním podílem. Zároveň je známo, že působení síťovacích prostředků je výraznější v amorfní oblasti celulózy v porovnání s krystalickou fází. To znamená, že čím vyšší je krystalinita vláken, tím menší je prostor pro působení síťovacího prostředku vzhledem k nižšímu počtu reaktivních míst. Z toho vyplývá, že jakékoli změny v krystalické struktuře způsobené předúpravou, budou mít vliv na průběh síťovacího procesu. Použití celulázy s BTCA v jedné lázni je spojeno ještě s dalším problémem. Celuláza má optimální aktivitu při pH 4,5. Průběh síťovací reakce je však silně závislý na hodnotě pH - optimální je pH přibližně 3. Vzhledem k aplikaci celulázy však musí být hodnota pH zvýšena na 4,5, čímž se dle literatury mírně snižuje nemačkový efekt dosažený síťováním BTCA. Vhodnější je tedy je zpracování dvoufázovým postupem - nejprve zpracování enzymem s celulázovou aktivitou při pH 4,5 a teplotě 55 °C s následnou inaktivací enzymu a sušením, a následně impregnace kyselinou 1,2,3,4-butanetetrakarboxylovou za katalýzy fosforanem sodným, sušení a kondenzace. [3]

## **2. PRAKTICKÁ ČÁST**

### **2.1. Měřené parametry a metody měření**

#### **2.1.1. Pevnost, tažnost**

Pevnost metodou STRIP a tažnost byly měřeny v souladu s ČSN EN ISO 13934-1 (80 0812). Upínací délka 200 mm ve směru útku a rychlost prodloužení 100 mm/min, upnutí bez předpětí. Zkušební vzorek po klimatizaci (vlhkost vzduchu  $65 \pm 4$  %, teplota  $20 \pm 2$  °C).

#### **2.1.2. Moisture management**

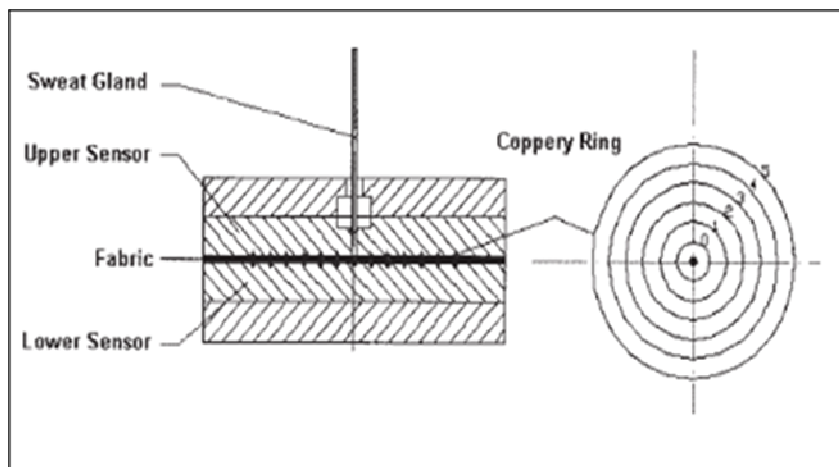
Tato metoda se používá k hodnocení textilních materiálů a vlivu finálních úprav na komplexní vlhkostní charakteristiku. Pro testování MMT (moisture management testing) byl použit přístroj SDL ATLAS.

### Moisture management tester

Moisture management tester je přístroj, který umožňuje sledovat šíření vlhkosti v textilním materiálu. Dovoluje měřit vlastnosti všech typů plošných textilií (tkanin, pletenin nebo netkaných textilií) a jeho obsluha je snadná a časově nenáročná. Využívá se ke kontrole kvality v oděvním průmyslu, při vývoji a výzkumu nových materiálů, ke klasifikaci materiálů na základě dynamických vlastností transportu vlhkosti a k hodnocení komfortu oděvů. Mezi jeho hlavní výhody patří: měření na rubu a lici současně, vícedimenzionální měření a možnost měřit dynamické vlastnosti. Snímání zajišťují dva panely osazené snímači vlhkosti v pěti soustředných kruzích. Principem je měření elektrického odporu resp. napětí, které je úměrné obsahu vody (fyziologického roztoku) v textilií. [4]



5 Moisture management tester (SDL Atlas)



6 Schéma snímacího panelu

### 2.1.3. Stupeň běli

K vyjádření stupně běli (CIELAB) bylo provedeno měření na přístroji Datacolor 600.

U sledovaných vzorků bylo cílem co nejvyšší zachování stupně běli upravené tkaniny. To

znamená, že výsledky měření zkušebních vzorků se musí co nejvíce blížit hodnotě naměřené u nezušlechtěné látky.

#### 2.1.4. Mačkavost

Pro vyhodnocení nemačkové úpravy je mačkavost jedním z hlavních parametrů. Hodnotí se tzv. úhel zotavení, což je schopnost zotavení horizontálně složeného vzorku. Měření mačkavosti (úhlů) za sucha i za mokra bylo prováděno metodou UNET (PNs 47451963/012/80/00).

#### 2.1.5. Pevnost v dotržení

Ke zkoušce pevnosti v dotržení byla použita metoda pomocí balistického kyvadla (Elmendorf) v souladu s normou ČSN EN ISO 13937-1 (80 0829). Pro metodu Elmendorf se vzorek upevní do svorek. Dotrhávání se zahájí provedením zářezu mezi svorkami.

Kyvadlo se pak uvolní a vzorek se dotrhává pohybem mobilní svorky směrem od pevné svorky. Měří se síla při dotržení.

#### 2.1.6. Tuhost

Tuhost v ohybu je odolnost plošné textilie vůči ohýbání, vlastní vahou i působením vnější síly. Tento odpor je součtem všech třecích a soudržných sil, které vznikají při ohybu mezi vlákny a mezi přízemi ve vazných bodech. Tuhost v ohybu tkaniny je závislá na ohybové tuhosti příze a způsobu provázání příze ve tkanině. Ke stanovení tuhosti byl použit standard ČSN 80 0835 (tuhoměr TH4).

### 2.2. Vyhodnocení výsledků

Při pokusech bylo pracováno se 100% bavlněnou tkaninou v atlasové vazbě (5-ti vazný osnovní atlas s postupovým číslem 3). Plošná hmotnost tkaniny ČSN EN 12127 (80 0849) byla 131 g/m<sup>2</sup>. Dostava ČSN EN 1049-2 (80 0814) osnovy: 50 nití na 1 cm a dostava útku: 32 nití na 1 cm. Jemnost přízí (ČSN EN ISO 2060 (80 0702) v osnově i v útku se rovná 14,5 tex.

Parametr	Standard	Hodnota
<b>Pevnost v tahu (N)</b>	ČSN EN ISO 13934-1 (80 0812)	Útek - 331
<b>Tažnost (%)</b>	ČSN EN ISO 13934-1 (80 0812)	Útek – 15,8
<b>Mačkavost za mokra (úhel zotavení)</b>	PNs 47451963/012/80/00	Útek – 90 Osnova - 65

<b>Mačkovost za sucha (úhel zotavení)</b>	PNs 47451963/012/80/00	Útek – 90 Osnova - 60
<b>Pevnost v dotržení (N)</b>	ČSN EN ISO 13937-1 (80 0829)	Útek – 10,0
<b>Tuhost (mN)</b>	ČSN 80 0835	Útek – 6,87

3 Tabulka vybraných parametrů původní tkaniny

### 2.2.1. Zjišťování optimální koncentrace síťovacího prostředku

Byly testovány následující přípravky:

- TEXPREF LF (DMDHEU, INOTEX)
- kyselina citrónová (CA)
- kyselina 1,2,3,4- butantetrakarboxylová (BTCA)

Od každé sloučeniny byly připraveny 4 lázně s různou koncentrací. V těchto lázních byly na laboratorním fuláru naklocovány vždy 2 vzorky bavlněné lůžkoviny o velikosti 25 x 35 cm. Následně byly vzorky usušeny a kondenzovány ve fixační komoře Werner Mathis při teplotě 150 °C po dobu 3 min. U hotových vzorků byly vyhodnoceny následující parametry: mačkovost za mokra UNET, mačkovost za sucha UNET, pevnost v tahu STRIP a tažnost. Všechny parametry byly měřeny 5-krát. V tabulkách jsou uváděny průměrné hodnoty měření. Výsledky jednotlivých měření se základními statistickými údaji jsou uvedeny v příloze.

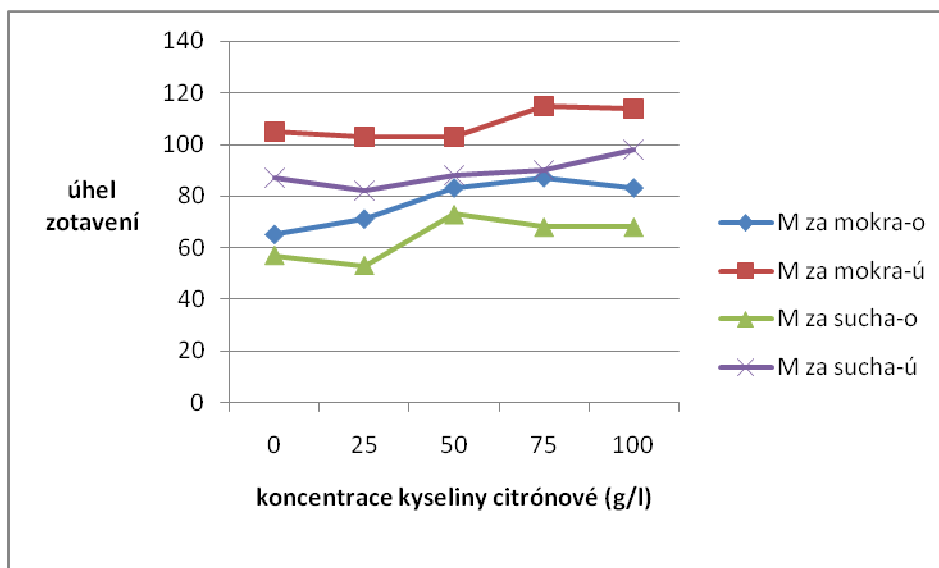
#### Kyselina citrónová

Do všech lázní s kyselinou citrónovou byl přidán fosforan sodný v množství 32 g/l.

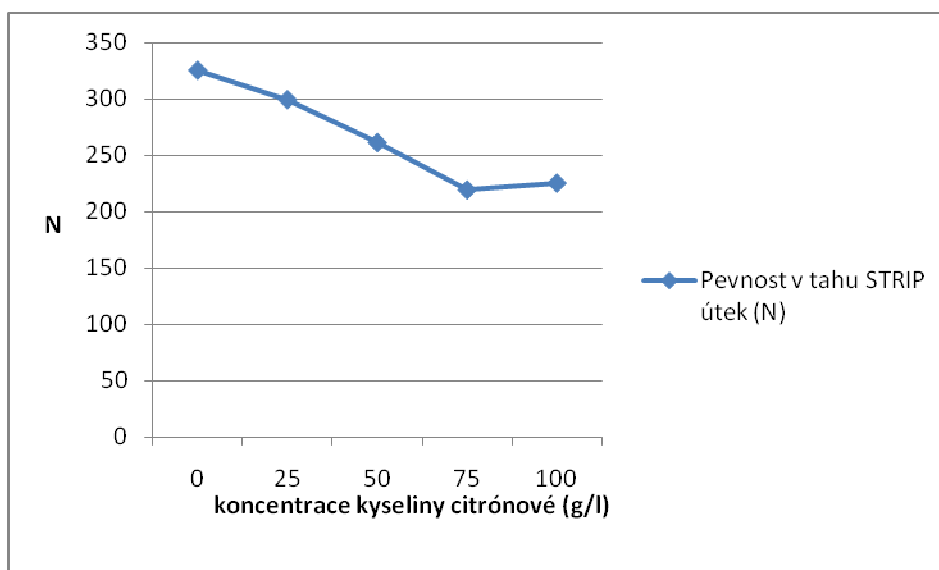
<b>kyselina citrónová (g/l)</b>	<b>0</b>	<b>25</b>	<b>50</b>	<b>75</b>	<b>100</b>
Mačkovost za mokra- osnova (úhel zotavení)	65	71	83	87	83
Mačkovost za mokra- útek (úhel zotavení)	105	103	103	115	114
Mačkovost za sucha- osnova (úhel zotavení)	57	53	73	68	68
Mačkovost za sucha- útek (úhel zotavení)	87	82	88	90	98
Pevnost v tahu STRIP- útek (N)	325	299	261	219	225
Tažnost- útek (%)	16,5	13,4	13,7	11,7	13

4 Tabulka průměrných hodnot měření

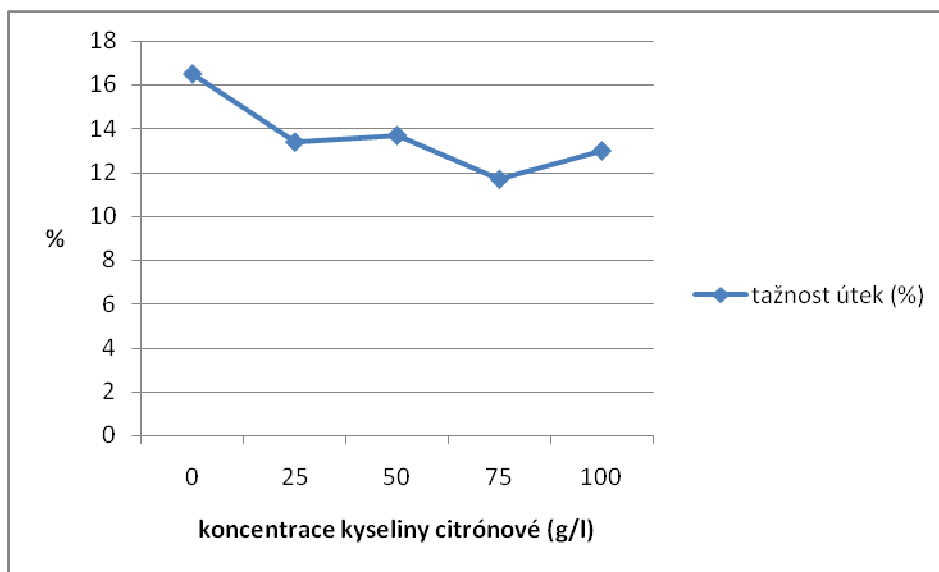




1 Mačkavost dle různé koncentrace kyseliny citrónové



2 Pevnost v tahu dle různé koncentrace kyseliny citrónové



3 Tažnost dle různé koncentrace kyseliny citrónové

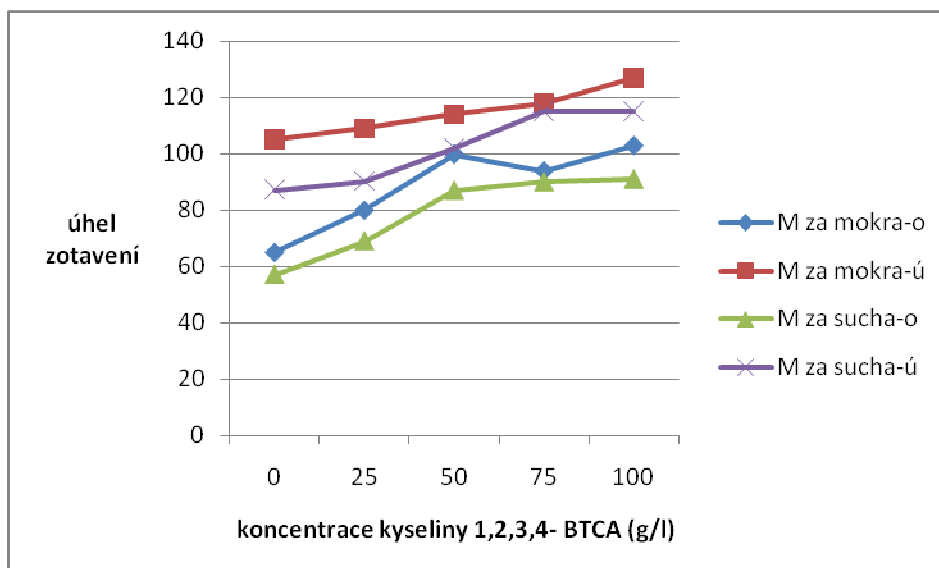
Z těchto grafů vyplývá, že jako optimální koncentrace kyseliny citrónové se jeví 50 g/l. Dochází k částečné ztrátě pevnosti, která je ještě přijatelná (nad 200N), a přitom se již významně zlepšují úhly zotavení.

#### Kyselina 1,2,3,4-butanetrakarboxylová (1,2,3,4- BTCA)

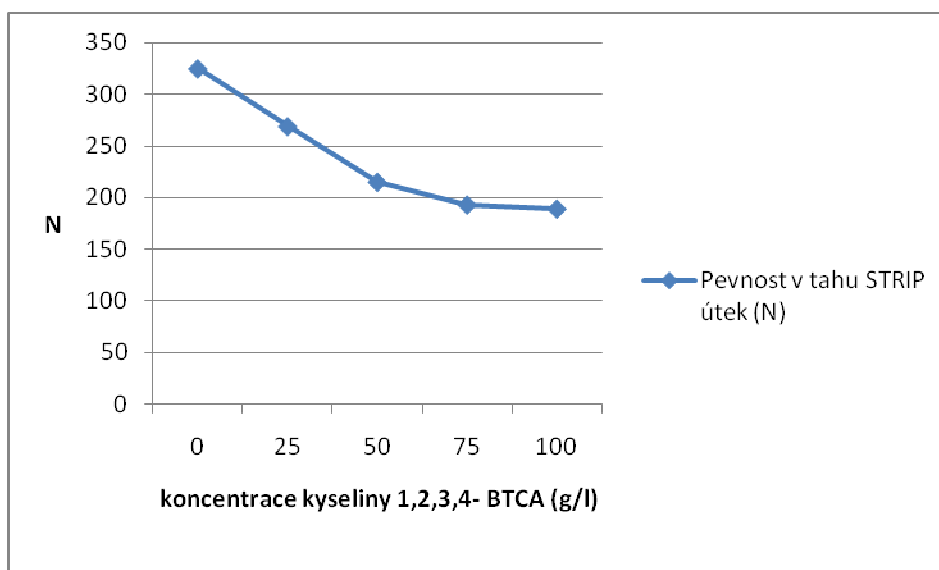
Do všech lázní s kyselinou 1,2,3,4-butanetrakarboxylovou byl přidán fosforan sodný v množství 32 g/l.

kys. 1,2,3,4 - BTCA (g/l)	0	25	50	75	100
Mačkavost za mokra- osnova (úhel zotavení)	65	80	100	94	103
Mačkavost za mokra- útek (úhel zotavení)	105	109	114	118	127
Mačkavost za sucha- osnova (úhel zotavení)	57	69	87	90	91
Mačkavost za sucha- útek (úhel zotavení)	87	90	102	115	115
Pevnost v tahu STRIP- útek (N)	325	269	215	193	189
Tažnost- útek (%)	16,5	13,4	13,4	11,6	11,4

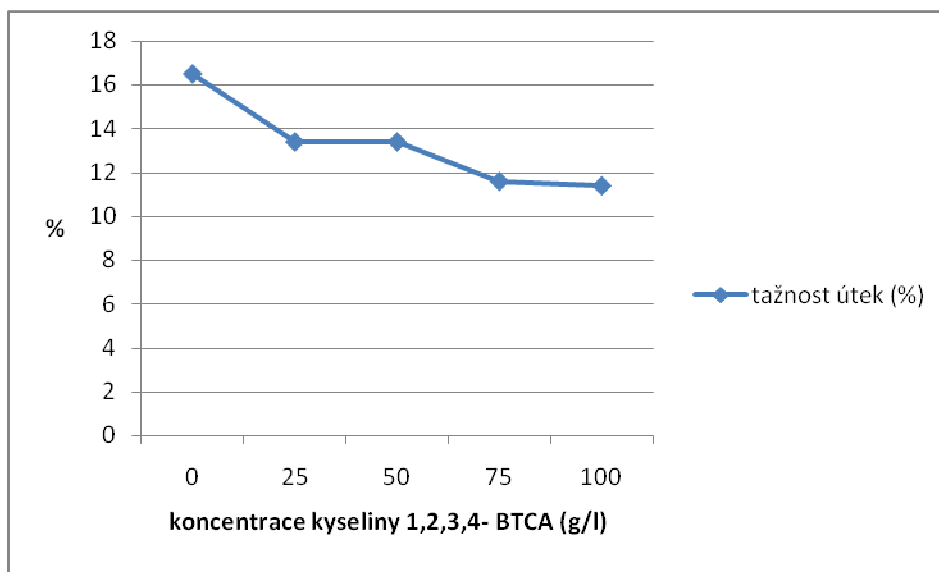
5 Tabulka průměrných hodnot měření



4 Mačkovost dle různé koncentrace BTCA



5 Pevnost v tahu dle různé koncentrace BTCA



6 Tažnost dle různé koncentrace BTCA

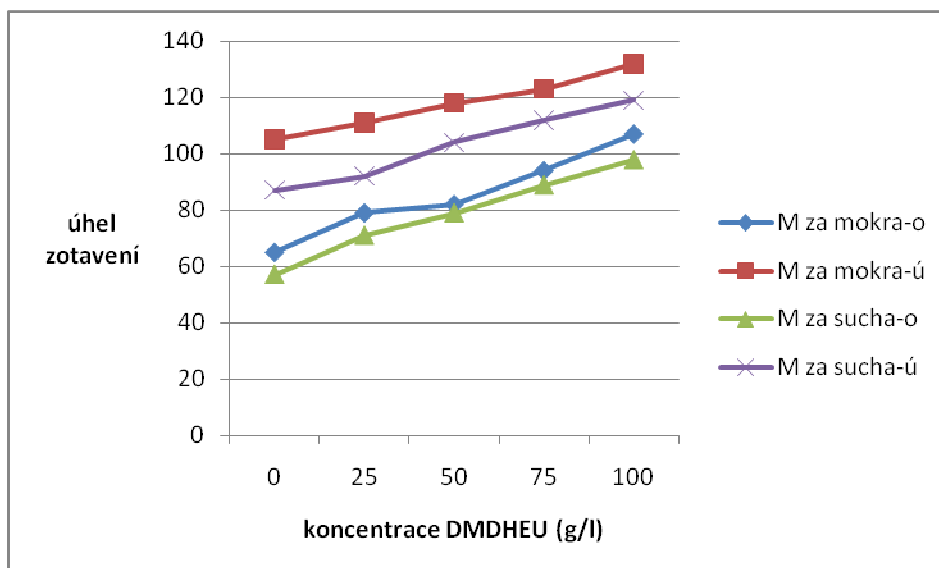
Jako optimální koncentrace kyseliny 1,2,3,4- butantetrakorboxylové se jeví 70 g/l. Sice dochází ke ztrátám pevnosti a tažnosti, ale výrazně se zvyšují úhly zotavení.

#### Dimethyloldihydroxyethylenmočovina (DMDHEU) - klasická úprava

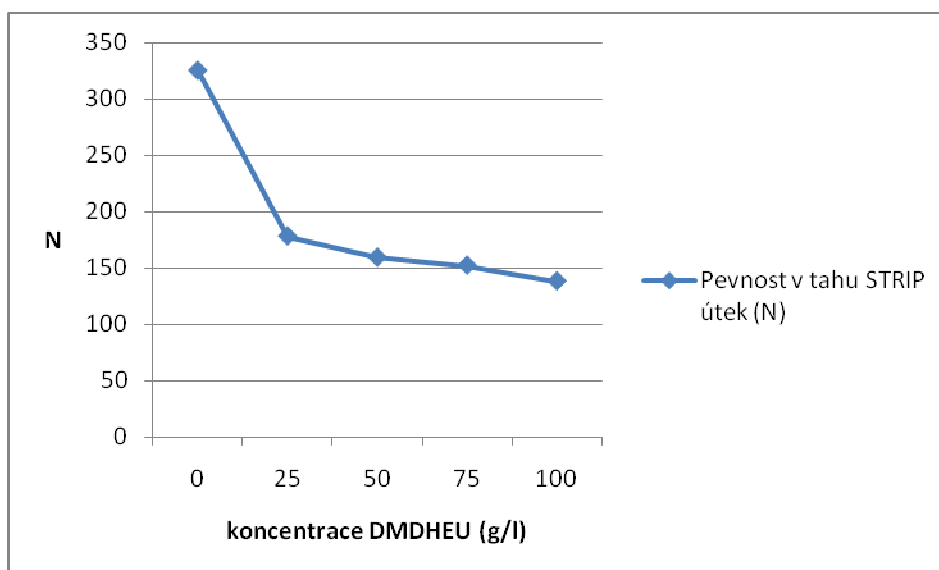
Do všech lázní s DMDHEU byl přidán jako katalyzátor chlorid hořečnatý hexahydrát ( $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) v množství 10 g/l.

DMDHEU	0	25	50	75	100
Mačkovost za mokra- osnova (úhel zotavení)	65	79	82	94	107
Mačkovost za mokra- útek (úhel zotavení)	105	111	118	123	132
Mačkovost za sucha- osnova (úhel zotavení)	57	71	79	89	98
Mačkovost za sucha- útek (úhel zotavení)	87	92	104	112	119
Pevnost v tahu STRIP- útek (N)	325	178	159	152	138
Tažnost- útek (%)	16,5	10,8	9,69	9,14	8,46

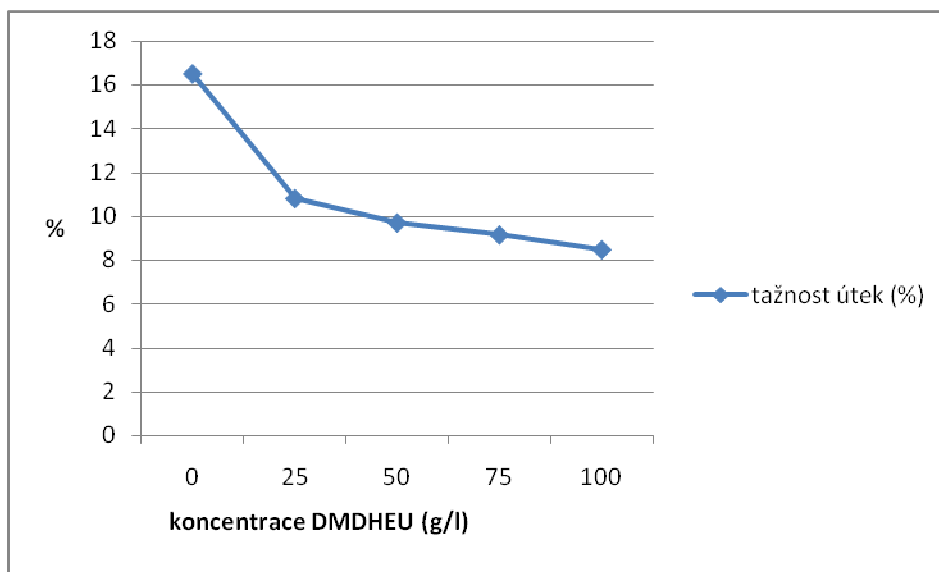
6 Tabulka průměrných hodnot



7 Mačkovost dle různé koncentrace DMDHEU



8 Pevnost v tahu dle různé koncentrace DMDHEU



9 Tažnost dle různé koncentrace DMDHEU

Klasická úprava dosahuje vynikajících výsledků u úhlů zotavení, v porovnání s úpravami provedenými polykarboxylovými kyselinami však při ní dochází k vysokým ztrátám pevnosti i tažnosti.

### 2.2.2. Zjišťování optimální teploty a času kondenzace

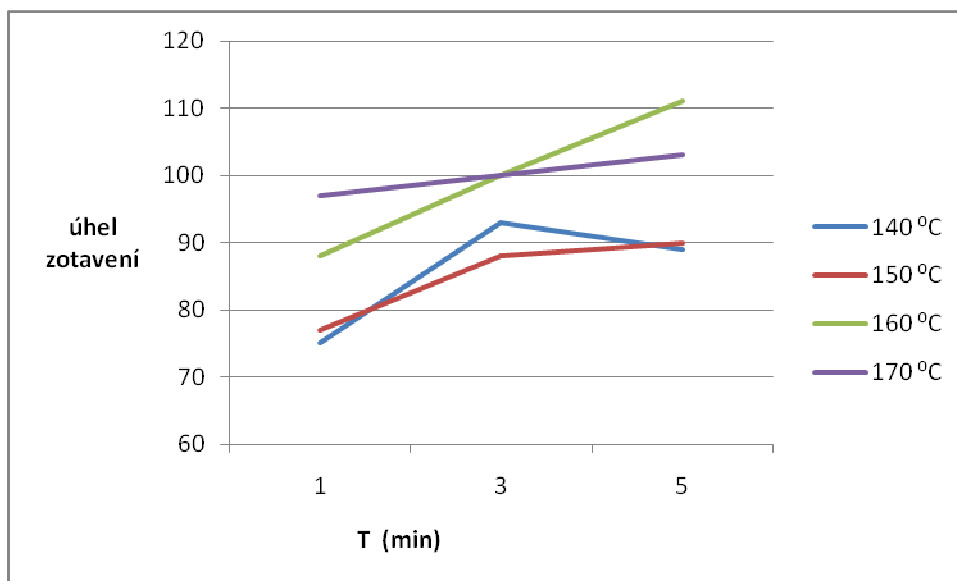
Při pokusech bylo pracováno se zjištěnou optimální koncentrací kyseliny citrónové (50 g/l) a 1,2,3,4 BTCA (70 g/l). Pro stanovení optimálních podmínek (teploty a doby) byly zvoleny 4 různé teploty kondenzace (140 °C, 150 °C, 160 °C a 170 °C) a 3 různé doby, po které bylo touto teplotou na tkaninu působeno (1 min, 3 min a 5 min). Následně byly změřeny následující parametry: pevnost v tahu STRIP, tažnost, mačkavost za mokra UNET, mačkavost za sucha UNET a stupeň běli (Berger). Z finančních a časových důvodů byly u této série vzorků měřeny parametry pouze jednou.

#### Kyselina 1,2,3,4-butanetrakarboxylová (1,2,3,4- BTCA)

Do lázně byl přidán fosforan sodný v množství 32 g/l.

<b>Mačkavost za mokra - osnova</b>	<b>140 °C</b>	<b>150 °C</b>	<b>160 °C</b>	<b>170 °C</b>
1 min	75	77	88	97
3 min	93	88	100	100
5 min	89	90	111	103

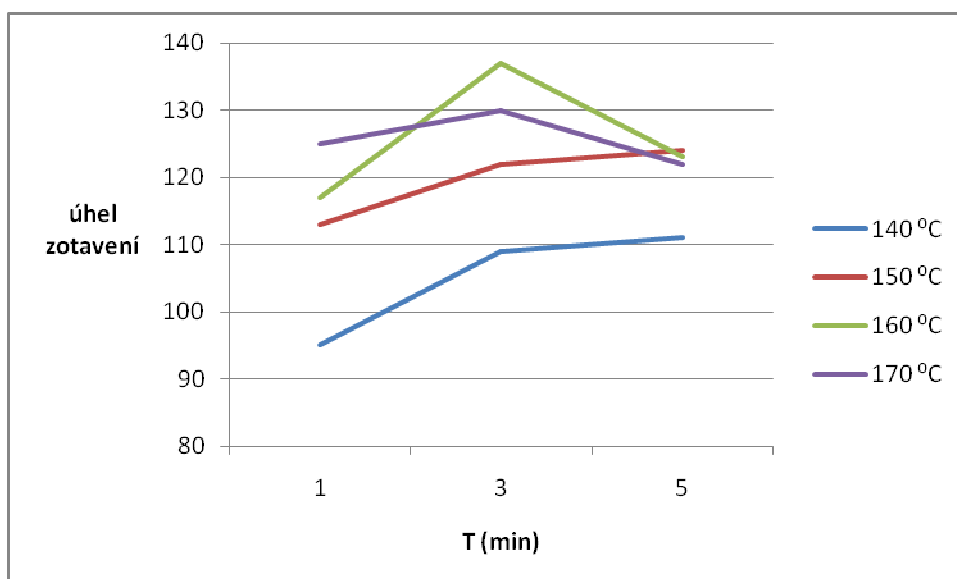
7 Tabulka naměřených hodnot mačkavosti za mokra (osnova) dle různých kondenzačních podmínek kyseliny 1,2,3,4- BTCA



10 Mačkovost za mokra (osnova) dle různých kondenzačních podmínek kyseliny 1,2,3,4-BTCA

Mačkovost za mokra - útek	140 °C	150 °C	160 °C	170 °C
1 min	95	113	117	125
3 min	109	122	137	130
5 min	111	124	123	122

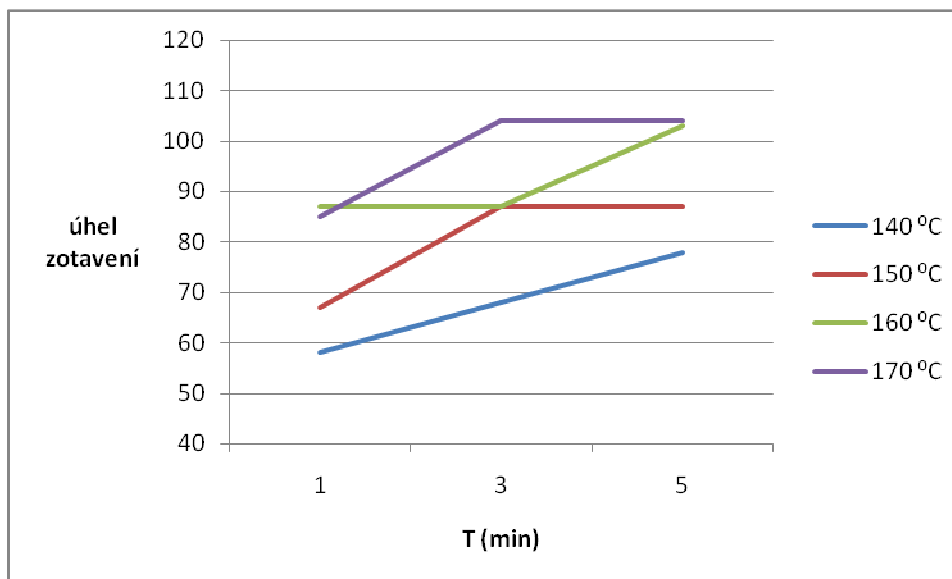
8 Tabulka naměřených hodnot mačkovosti za mokra (útek) dle různých kondenzačních podmínek kyseliny 1,2,3,4- BTCA



11 Mačkovost za mokra (útek) dle různých kondenzačních podmínek kyseliny 1,2,3,4-BTCA

<b>Mačkavost za sucha - osnova</b>	<b>140 °C</b>	<b>150 °C</b>	<b>160 °C</b>	<b>170 °C</b>
1 min	58	67	87	85
3 min	68	87	87	104
5 min	78	87	103	104

9 Tabulka naměřených hodnot mačkavosti za sucha (osnova) dle různých kondenzačních podmínek kyseliny 1,2,3,4- BTCA

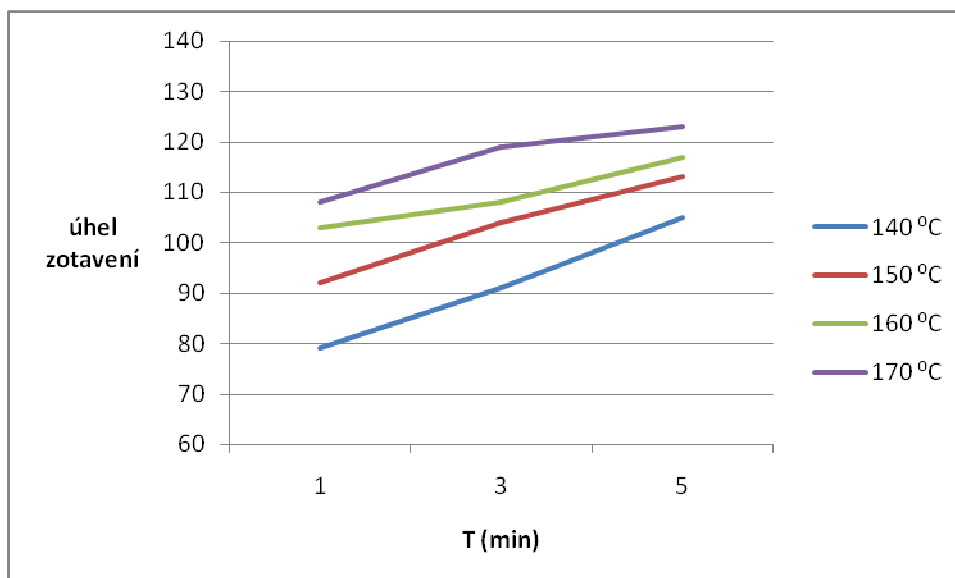


12 Mačkavost za sucha (osnova) dle různých kondenzačních podmínek kyseliny 1,2,3,4- BTCA

<b>Mačkavost za sucha - útek</b>	<b>140 °C</b>	<b>150 °C</b>	<b>160 °C</b>	<b>170 °C</b>
1 min	79	92	103	108
3 min	91	104	108	119
5 min	105	113	117	123

10 Tabulka naměřených hodnot mačkavosti za sucha (útek) dle různých kondenzačních podmínek kyseliny 1,2,3,4- BTCA

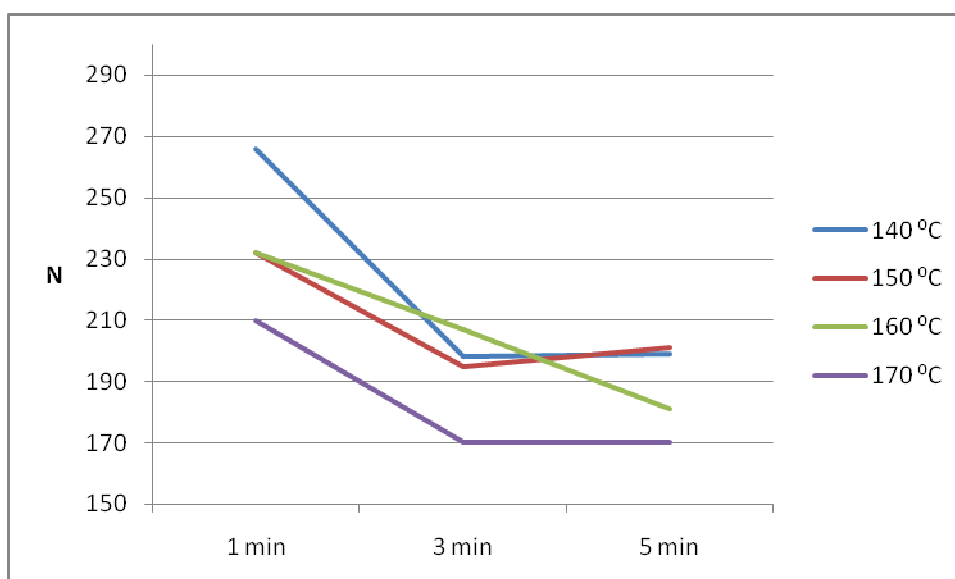




13 Mačkovost za sucha (útek) dle různých kondenzačních podmínek kyseliny 1,2,3,4-BTCA

PEVNOST V TAHU - útek	140 °C	150 °C	160 °C	170 °C
1 min	266	232	232	210
3 min	198	195	207	170
5 min	199	201	181	170

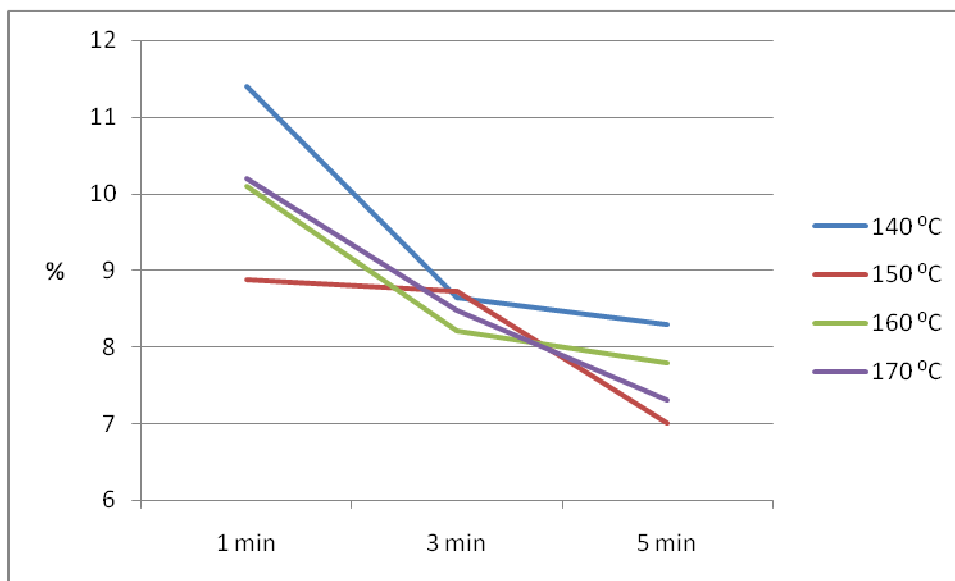
11 Tabulka naměřených hodnot pevnosti v tahu (útek) dle různých kondenzačních podmínek kyseliny 1,2,3,4- BTCA



14 Pevnost v tahu (útek) dle různých kondenzačních podmínek kyseliny 1,2,3,4- BTCA

<b>TAŽNOST - útek</b>	<b>140 °C</b>	<b>150 °C</b>	<b>160 °C</b>	<b>170 °C</b>
1 min	11,4	8,88	10,1	10,2
3 min	8,65	8,72	8,21	8,48
5 min	8,29	7	7,79	7,31

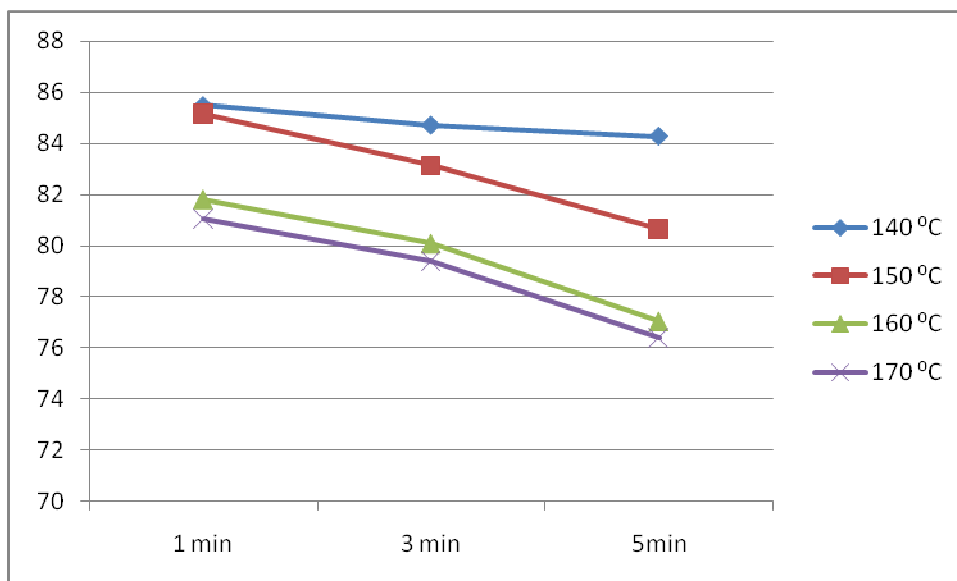
12 Tabulka naměřených hodnot tažnosti (útek) dle různých kondenzačních podmínek kyseliny 1,2,3,4- BTCA



15 Tažnost (útek) dle různých kondenzačních podmínek kyseliny 1,2,3,4- BTCA

<b>Běl - Berger</b>	<b>140 °C</b>	<b>150 °C</b>	<b>160 °C</b>	<b>170 °C</b>
1 min	85,49	85,15	81,79	81,05
3 min	84,71	83,13	80,07	79,39
5 min	84,27	80,66	77,04	76,41

13 Tabulka naměřených hodnot běli (Berger) dle různých kondenzačních podmínek kyseliny 1,2,3,4- BTCA



16 Běl (Berger) dle různých kondenzačních podmínek kyseliny 1,2,3,4- BTCA

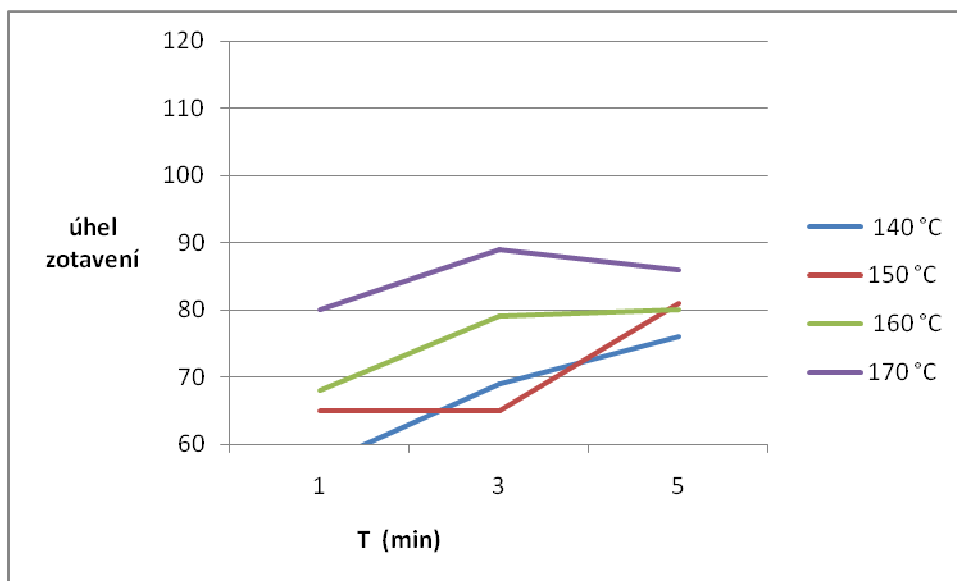
Jako optimální poměr mezi kondenzační teplotou a časem u úpravy prováděné kyselinou 1,2,3,4- BTCA se jeví 160 °C po dobu 2 min. Vyšší teplota a její delší působení sice zvyšují úhly zotavení, ale zároveň dochází k nepříjemným ztrátám pevnosti, tažnosti a stupně běli.

### Kyselina citrónová

Do lázně byl přidán fosfornan sodný v množství 32 g/l.

Mačkavost za mokra - osnova	140 °C	150 °C	160 °C	170 °C
1 min	57	65	68	80
3 min	69	65	79	89
5 min	76	81	80	86

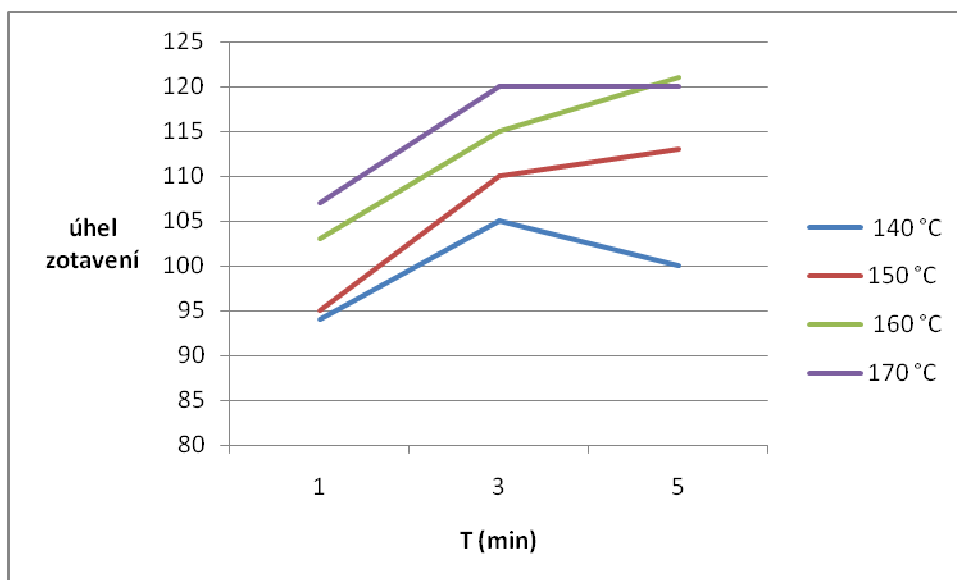
14 Tabulka naměřených hodnot mačkavosti za mokra (osnova) dle různých kondenzačních podmínek kyseliny citrónové



17 Mačkavost za mokra (osnova) dle různých kondenzačních podmínek kyseliny citrónové

Mačkavost za mokra - útek	140 °C	150 °C	160 °C	170 °C
1 min	94	95	103	107
3 min	105	110	115	120
5 min	100	113	121	120

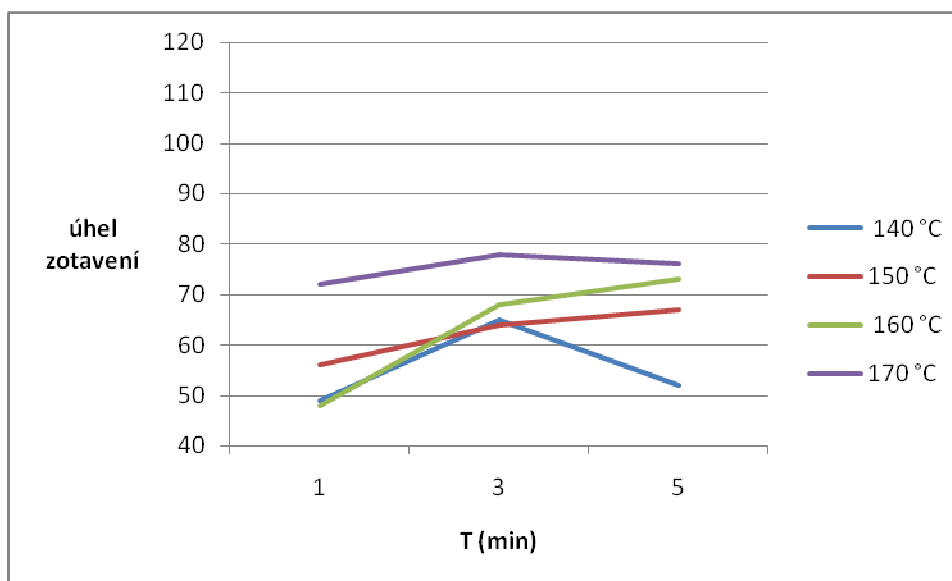
15 Tabulka naměřených hodnot mačkavosti za mokra (útek) dle různých kondenzačních podmínek kyseliny citrónové



18 Mačkavost za mokra (útek) dle různých kondenzačních podmínek kyseliny citrónové

<b>Mačkavost za sucha - osnova</b>	<b>140 °C</b>	<b>150 °C</b>	<b>160 °C</b>	<b>170 °C</b>
1 min	49	56	48	72
3 min	65	64	68	78
5 min	52	67	73	76

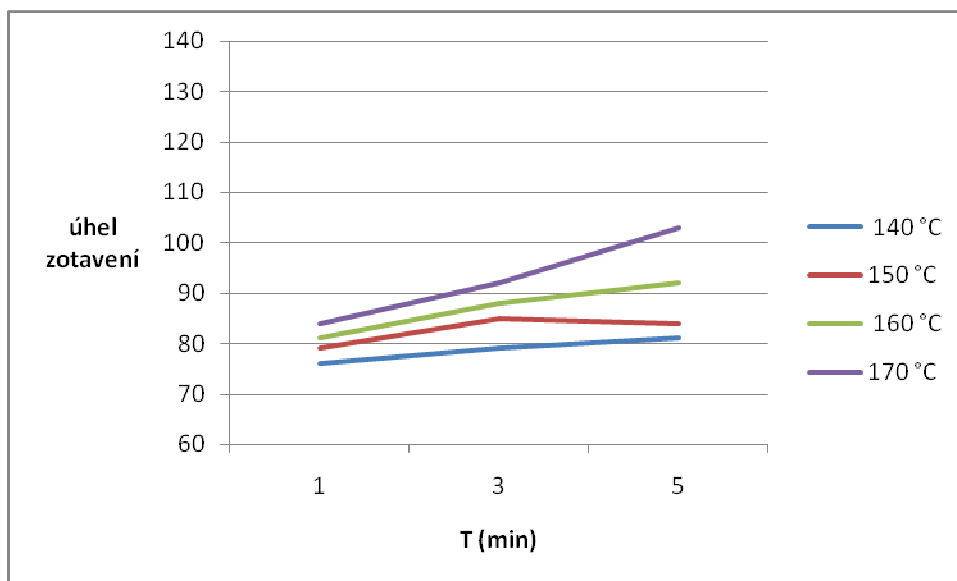
16 Tabulka naměřených hodnot mačkavosti za sucha (osnova) dle různých kondenzačních podmínek kyseliny citrónové



19 Mačkavost za sucha (osnova) dle různých kondenzačních podmínek kyseliny citrónové

<b>Mačkavost za sucha - útek</b>	<b>140 °C</b>	<b>150 °C</b>	<b>160 °C</b>	<b>170 °C</b>
1 min	76	79	81	84
3 min	79	85	88	92
5 min	81	84	92	103

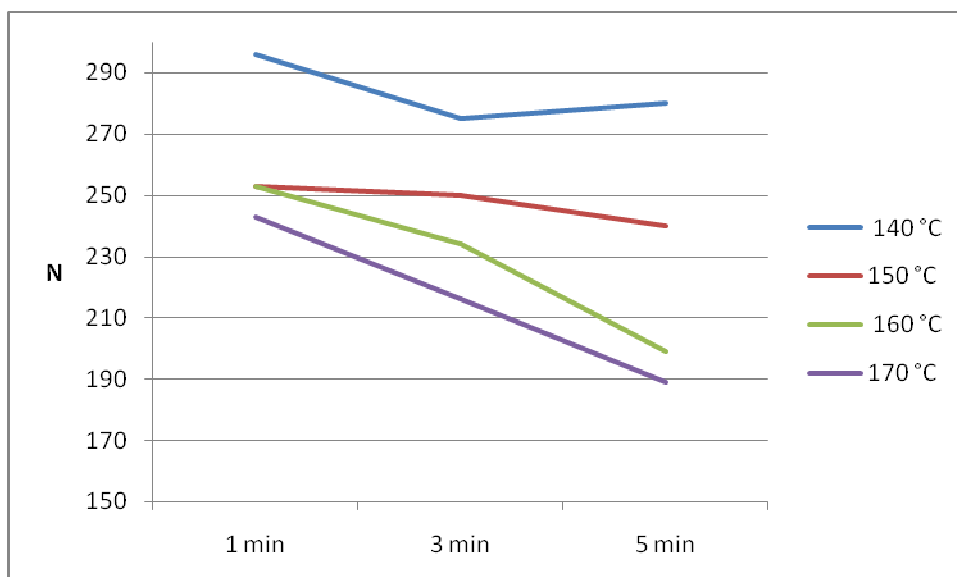
17 Tabulka naměřených hodnot mačkavosti za sucha (útek) dle různých kondenzačních podmínek kyseliny citrónové



20 Mačkavost za sucha (útek) dle různých kondenzačních podmínek kyseliny citrónové

PEVNOST V TAHU - útek	140 °C	150 °C	160 °C	170 °C
1 min	296	253	253	243
3 min	275	250	234	216
5 min	280	240	199	189

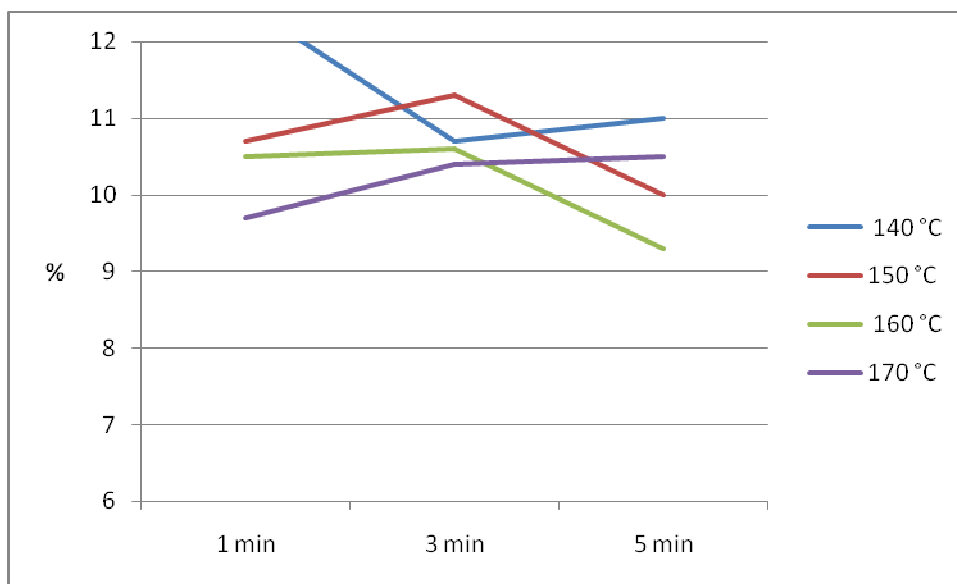
18 Tabulka naměřených hodnot pevnosti v tahu (útek) dle různých kondenzačních podmínek kyseliny citrónové



21 Pevnost v tahu (útek) dle různých kondenzačních podmínek kyseliny citrónové

<b>TAŽNOST - útek</b>	<b>140 °C</b>	<b>150 °C</b>	<b>160 °C</b>	<b>170 °C</b>
1 min	12,5	10,7	10,5	9,7
3 min	10,7	11,3	10,6	10,4
5 min	11	10	9,3	10,5

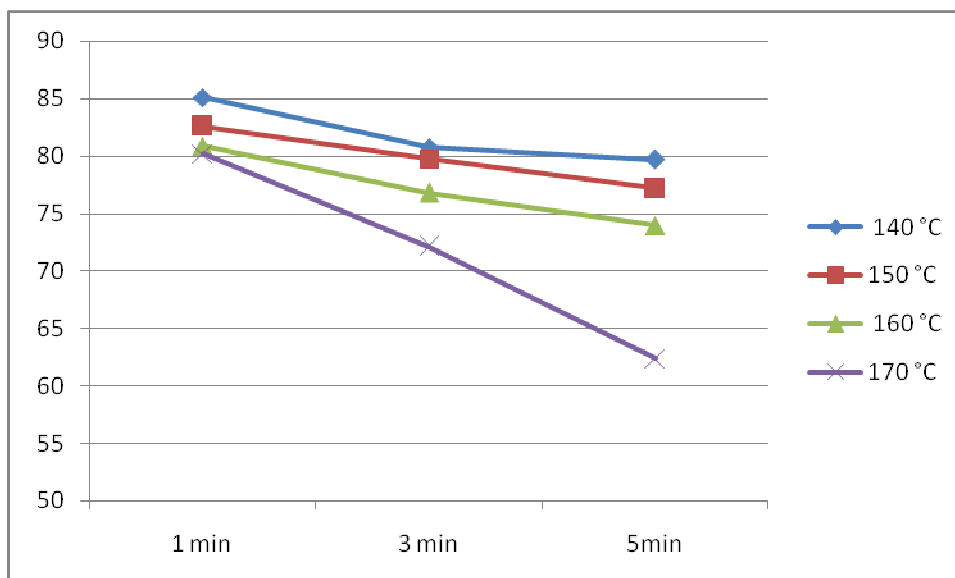
19 Tabulka naměřených hodnot tažnosti (útek) dle různých kondenzačních podmínek kyseliny citrónové



22 Tažnost (útek) dle různých kondenzačních podmínek kyseliny citrónové

<b>Běl - Berger</b>	<b>140 °C</b>	<b>150 °C</b>	<b>160 °C</b>	<b>170 °C</b>
1 min	85,08	82,57	80,88	80,2
3 min	80,76	79,75	76,78	72,1
5min	79,68	77,16	73,95	62,36

20 Tabulka naměřených hodnot běli (Berger) dle různých kondenzačních podmínek kyseliny citrónové



23 Běl (Berger) dle různých kondenzačních podmínek kyseliny citrónové

### 2.2.3. Vliv předúpravy enzymem s celulázovou aktivitou

Pro předúpravu byl použit přípravek TEXAZYM AP (celuláza) ze sortimentu společnosti Inotex spol. s r. o. Byla připravena lázeň s 2 % TEXAZYM AP z hmotnosti materiálu. Poměr lázně 1:20. PH bylo upraveno na hodnotu 4,5 pomocí kyseliny octové. Vzorek byl v lázni ponechán po dobu 30 min při teplotě 55 °C. Poté byl vzorek vyprán ve vodě a usušen na vzduchu. Následně byla provedena úprava impregnací kyselinou 1,2,3,4- BTCA s fosforanem sodným dle podmínek zjištěných předchozími pokusy.

Výsledek předúpravy nedopadl dle očekávání. Rozdíl mezi vzorkem předupraveným a nepředupraveným enzymem nebyl prakticky znát. Co se týká mačkovosti vzorky vykazovaly téměř stejné hodnoty a navíc u předupraveného vzorku došlo k vyšším ztrátám pevnosti a tažnosti. Dá se tedy konstatovat, že předúprava pomocí enzymu s celulázovou aktivitou dle uvedených podmínek se neosvědčila.

### 2.2.4. Porovnání optimální úpravy kyselinou 1,2,3,4- BTCA s úpravou provedenou DMDHEU a původní nezušlechtěnou tkaninou

Jako optimální se jeví úprava pomocí kyseliny 1,2,3,4-BTCA s koncentrací 70 g/l a přidáním 32 g/l fosforanu sodného jako katalyzátoru, za kondenzačních podmínek 160 °C po dobu 2 min. Tato úprava byla porovnána s klasickou nemačkovou úpravou prováděnou DMDHEU v koncentraci 50 g/l s přidáním 10 g/l chloridu hořečnatého hexahydrátu jako katalyzátoru, za kondenzačních podmínek 150 °C po dobu 3 min.

U vzorků byly změřeny následující parametry: mačkovost za sucha UNET, mačkovost za mokra UNET, pevnost v tahu STRIP, tažnost, pevnost v dotržení ELMENDORF, tuhost,

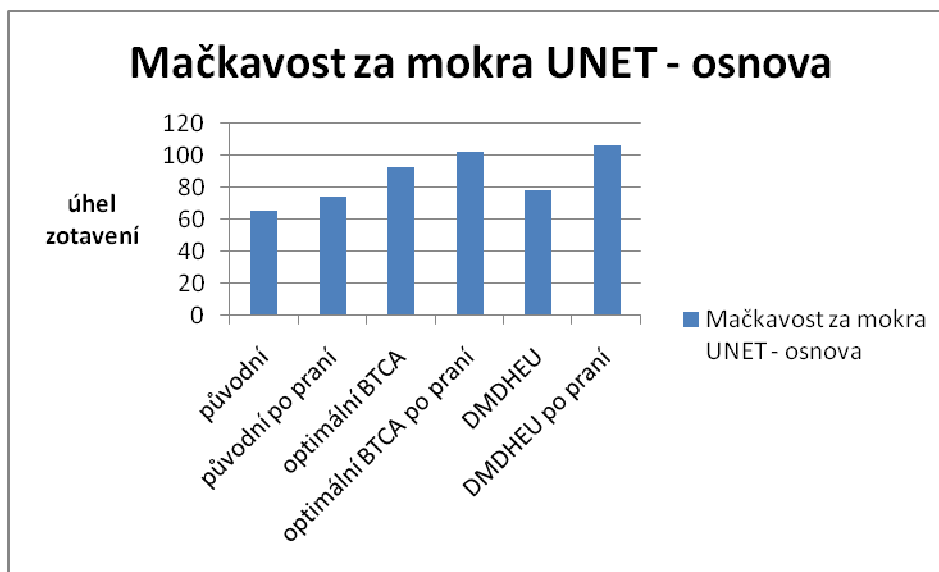


běl (Berger) a byl otesován moisture management. Všechny parametry kromě běli byly měřeny i po praní 3 x 60 °C. Každý parametr byl měřen 5-krát, v příloze jsou uvedeny výsledky všech měření i se základními statistickými údaji.

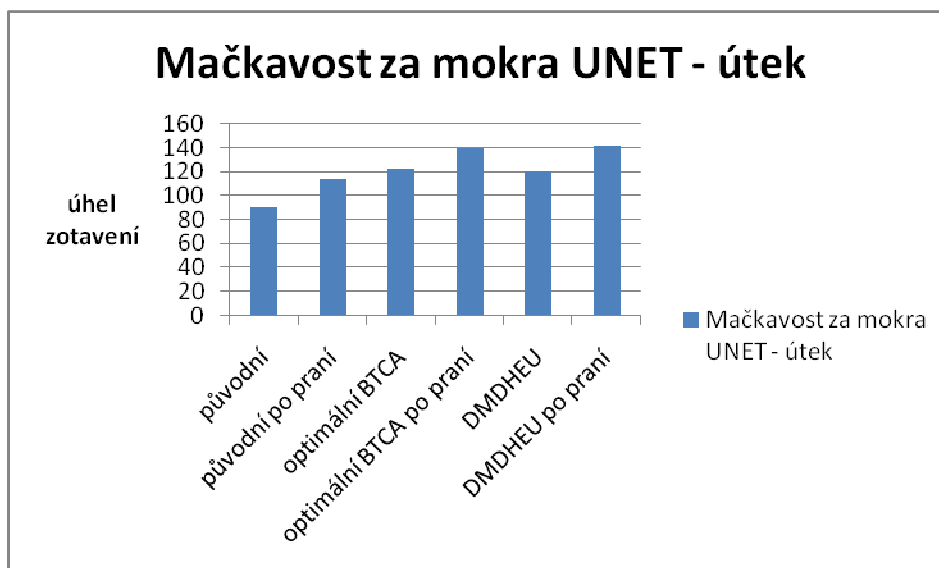
### Mačkavost

	původní	původní po praní	optimální BTCA	optimální BTCA po praní	DMDHEU	DMDHEU po praní
<b>Mačkavost za mokra UNET - osnova</b>	65	74	93	102	78	106
<b>Mačkavost za mokra UNET - útek</b>	90	114	122	140	120	142
<b>Mačkavost za sucha UNET - osnova</b>	60	46	82	76	68	73
<b>Mačkavost za sucha UNET - útek</b>	90	72	106	91	98	90

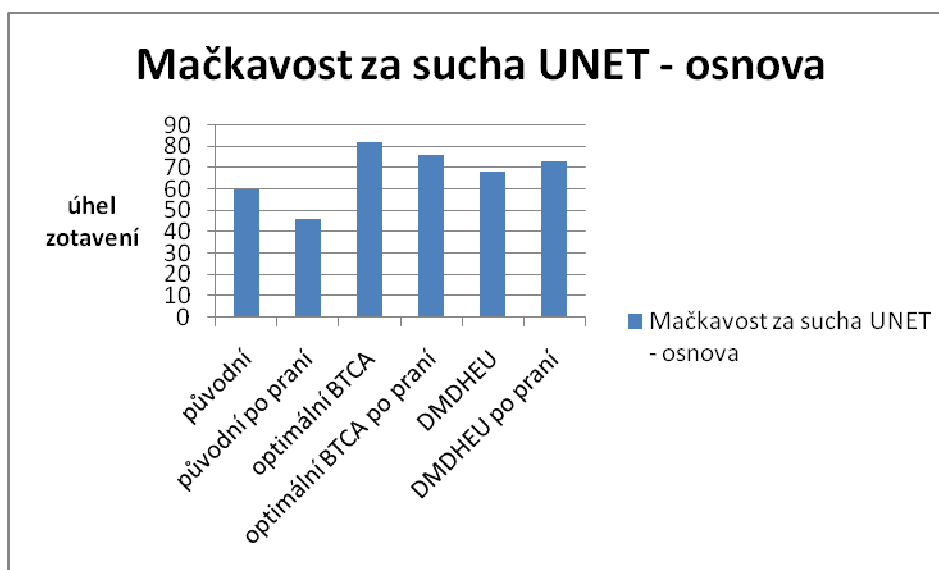
21 Tabulka průměrných hodnot mačkavosti



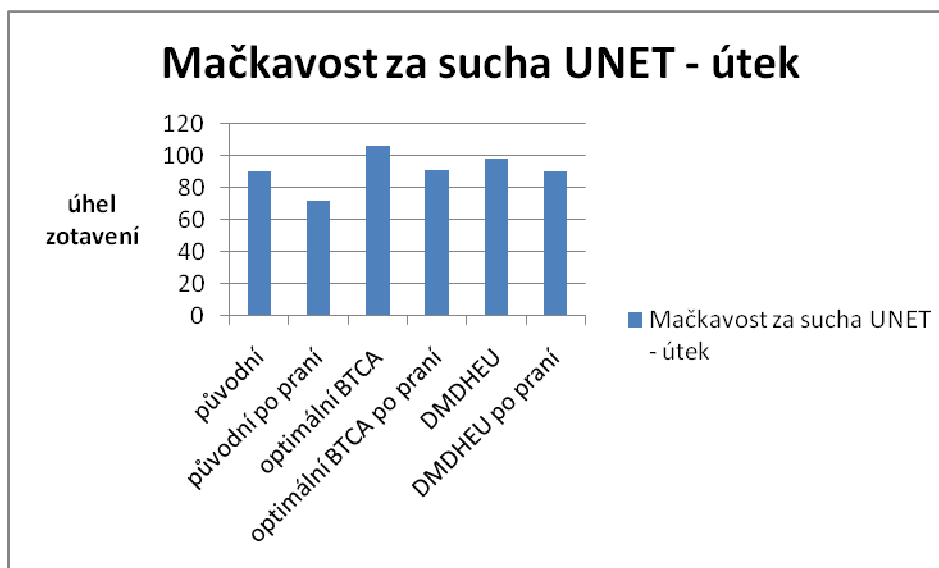
24 Mačkavost za mokra (osnova)



25 Mačkavost za mokra (útek)



26 Mačkavost za sucha (osnova)



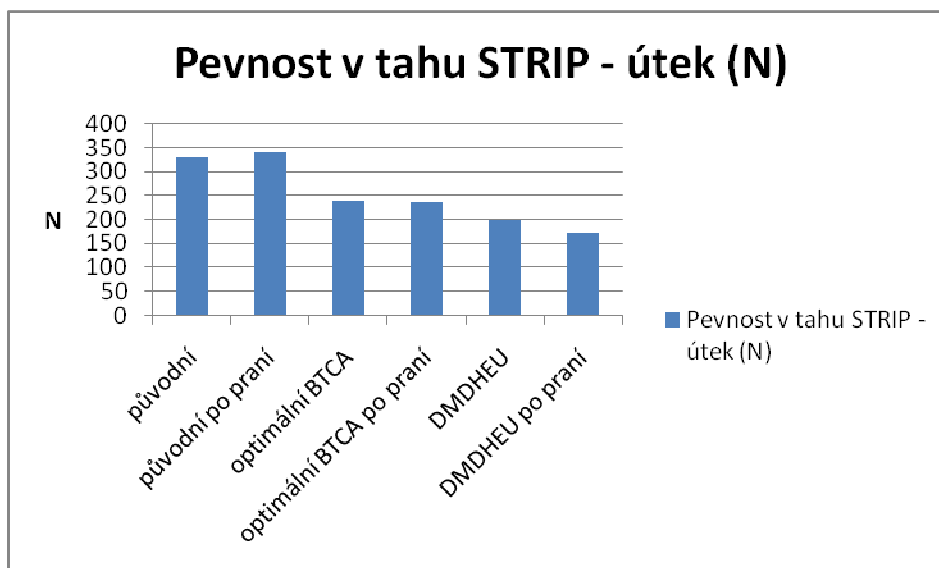
27 Mačkavost za sucha (útek)

Ke zlepšení úhlů zotavení došlo v případě obou provedených úprav, přičemž byla potvrzena permanence v opakovaném praní. Úprava provedená pomocí kyseliny 1,2,3,4-BTCA dosáhla celkově o něco lepších výsledků než úprava provedená pomocí DMDHEU.

#### Pevnost v tahu

	původní	původní po praní	optimální BTCA	optimální BTCA po praní	DMDHEU	DMDHEU po praní
<b>Pevnost v tahu STRIP - útek (N)</b>	331	342	239	236	199	172

22 Tabulka průměrných hodnot pevnosti v tahu



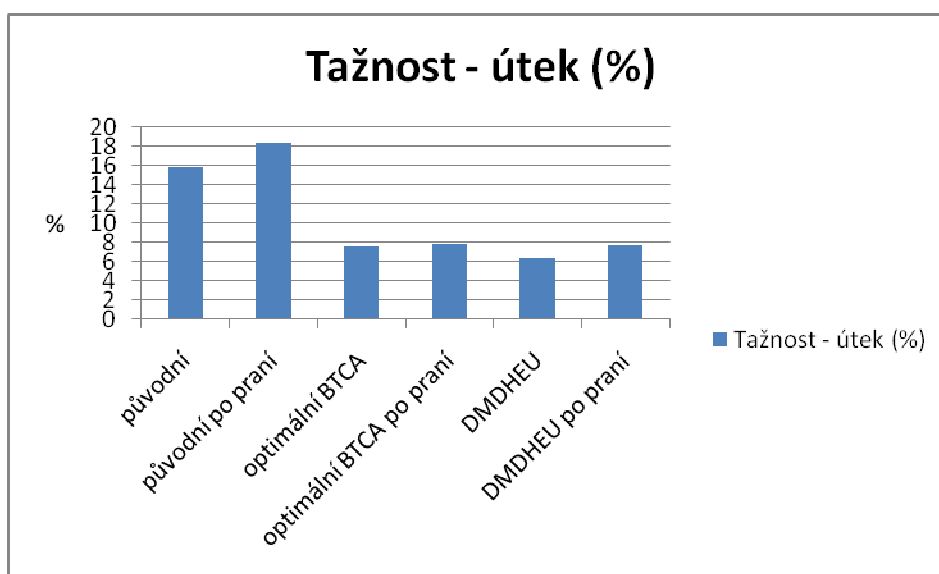
28 Pevnost v tahu (útek)

Po provedení nemačkové úpravy došlo ke znatelným ztrátám pevnosti u obou typů úprav, avšak lepších výsledků opět dosahuje úprava pomocí kyseliny 1,2,3,4-BTCA.

### Tažnost

	původní	původní po praní	optimální BTCA	optimální BTCA po praní	DMDHEU	DMDHEU po praní
<b>Tažnost - útek (%)</b>	15,8	18,4	7,53	7,76	6,36	7,71

23 Tabulka průměrných hodnot tažnosti



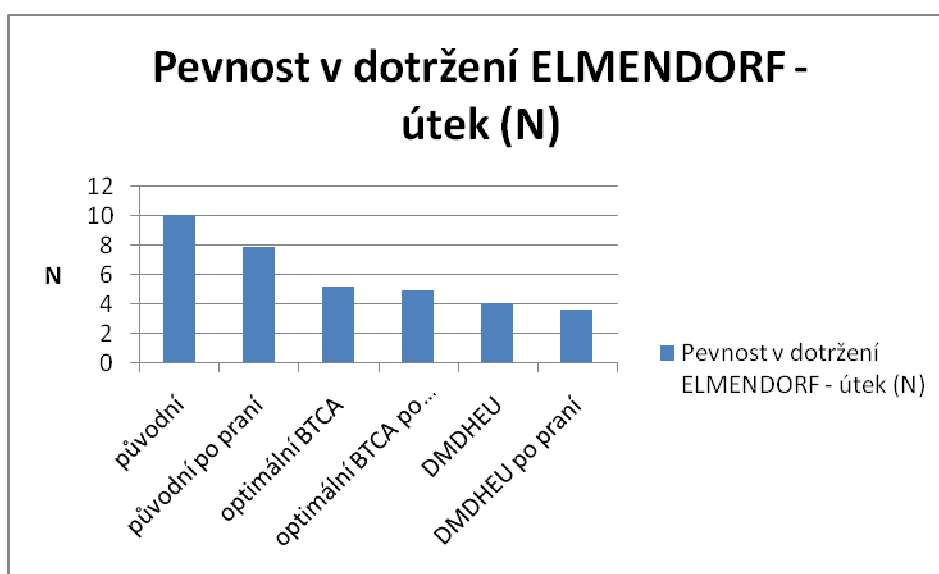
29 Tažnost (útek)

Stejně jako u pevnosti došlo po úpravě k výrazným ztrátám tažnosti. Při porovnání úprav dosahuje o něco lepších výsledků opět kyselina 1,2,3,4-BTCA.

### Pevnost v dotržení

	původní	původní po praní	optimální BTCA	optimální BTCA po praní	DMDHEU	DMDHEU po praní
<b>Pevnost v dotržení ELMENDORF - útek (N)</b>	10	7,85	5,18	4,95	4,08	3,61

24 Tabulka průměrných hodnot pevnosti v dotržení



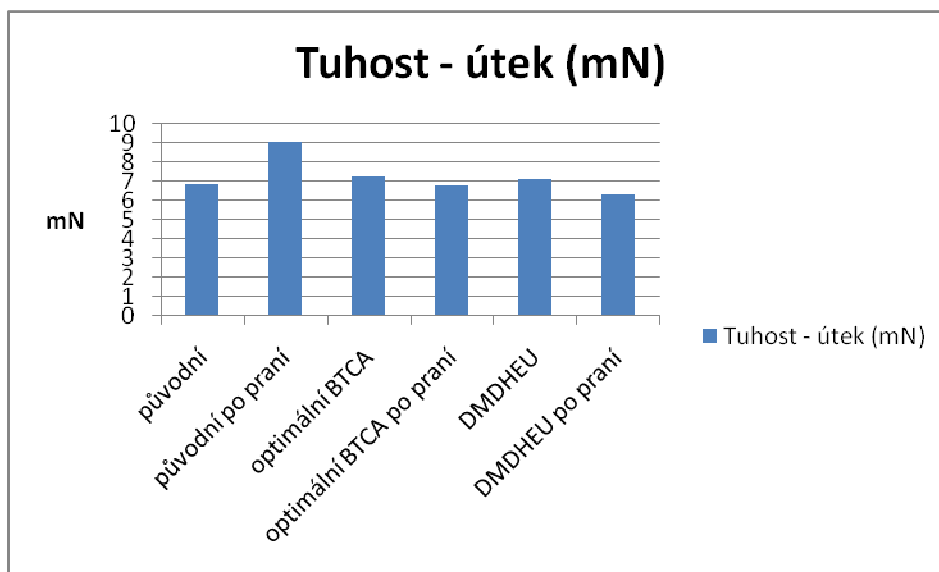
30 Pevnost v dotržení

Po provedených úpravách došlo ke ztrátám u pevnosti v dotržení. O něco nižších ztrát dosahuje úpravu kyselinou 1,2,3,4-BTCA.

### Tuhost

	původní	původní po praní	optimální BTCA	optimální BTCA po praní	DMDHEU	DMDHEU po praní
<b>Tuhost - útek (mN)</b>	6,87	9,03	7,26	6,77	7,13	6,32

25 Tabulka průměrných hodnot tuhosti



31 Tuhost (útek)

### Moisture management

*Celková charakteristika managementu vlhkosti OMM:* (Overall Moisture Management) je výsledkem komplexního vyhodnocení všech předchozích parametrů a má zásadní vypovídací schopnost o průběhu odvádění vlhkosti textilií.

Hodnoty OMM jsou:

0-1: nedostatečná, 1-2: uspokojivá, 2-3: dobrá, 3-4: velmi dobrá, 4-5: vynikající).

Úprava	OMM	OMM po praní
Výchozí (bez nemačkové úpravy)	3,5	3
BTCA	3,5	3
DMDHEU	3	3

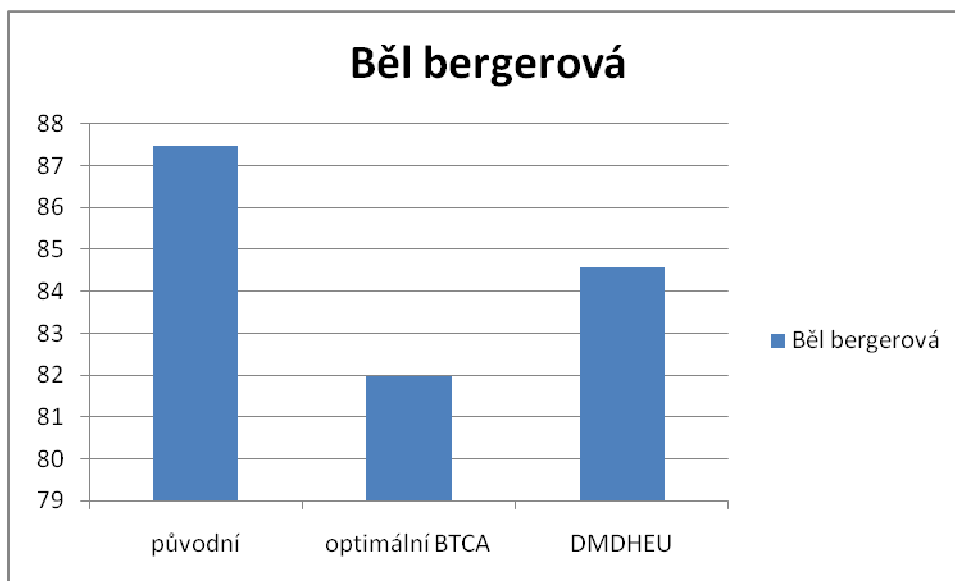
26 Tabulka hodnot MMT

Celkově se dá konstatovat, že po úpravě nedochází téměř vůbec ke zhoršení OMM.

### Stupeň běli

	původní	optimální BTCA	DMDHEU
Běl (Berger)	87,47	81,98	84,56

27 Tabulka průměrných hodnot stupně běli



32 Porovnání stupně běli (Berger)

Po provedené úpravě dochází k částečné ztrátě běli, avšak výsledné hodnoty jsou ještě přijatelné.

### 3. ZÁVĚR

Cílem práce bylo nalézt optimální nemačkovou úpravu 100% bavlněné lůžkoviny pomocí polykarboxylových kyselin. Porovnávány byly kyseliny citrónová a 1,2,3,4-butanetrakarboxylová. Nejlepších výsledků bylo dosaženo úpravou provedenou kyselinou 1,2,3,4-butanetrakarboxylovou za kondenzačních podmínek 160 °C po dobu 2 min. Tato úprava dosahuje celkově lepších výsledků než úprava provedená klasickým způsobem pomocí DMDHEU. U mačkovosti dosahují obě úpravy velice podobných výsledků, ovšem při úpravě kyselinou 1,2,3,4-butanetrakarboxylovou dochází ke znatelně nižším ztrátám pevnosti. Další nespornou výhodou této úpravy je nulový obsah formaldehydu. Kyselina 1,2,3,4-butanetrakarboxylová je sice o trochu dražší než DMDHEU, zhruba o 10 – 20 %, ale v dnešní době, kdy je kladen velký důraz na ekologii a na zdravotní nezávadnost výrobků, je vhodnou alternativou ke zmiňované úpravě prováděné pomocí DMDHEU. U úpravy provedené kyselinou citrónovou dochází ke žloutnutí tkaniny, proto se i přes svou nižší cenu (zhruba o polovinu levnější než kyselina 1,2,3,4-butanetrakarboxylová) nezdá být vhodná jako prostředek pro provedení nemačkové úpravy. K dalšímu zlepšení již zmíněné úpravy kyselinou 1,2,3,4-butanetrakarboxylovou by mohlo dojít při nalezení optimálních podmínek enzymatické předúpravy.

## LITERATURA

- [1] Shank, D.: Non-Formaldehyde wrinkle-free finishing: A commercial update. AATCC Review, 2002, svazek: 2, č. 3, s. 29-32
- [2] Welch, C.M., Peters, J.G.: Acid vs. Weak Base Catalysis in Durable Press Finishing with BTCA or Citric. AATCC Review, 2003, svazek: 3, č. 10, s. 27-30
- [3] Zhou, L.M., Yeung, K.W., Yuen, W.M.: Treating cotton fabric with cellulase and BTCA in one bath. AATCC Review, 2002, svazek: 2, č. 1, s. 29-33
- [4] Šíma, O., Martinková, L., Vojáčková, M.: Hodnocení textilních materiálů a vlivu finálních úprav na komplexní vlhkostní charakteristiku (moisture management). INOTEX spol. s r.o., 2010



## PŘÍLOHY

### Tabulky naměřených hodnot pro zjištění optimální koncentrace

#### Kyselina citrónová

Mačkavost za mokra UNET- osnova					
koncentrace kyseliny citrónové (g/l)	0	25	50	75	100
1	68	70	82	87	82
2	65	71	82	79	84
3	62	67	85	81	82
4	66	80	82	99	85
5	65	68	85	88	84
průměr	65	71	83	87	83
směrodatná odchylka	2,167948	5,167204	1,643168	7,823043	1,341641
IS+	66,90026	75,52917	84,44027	93,85707	84,17598
IS-	63,09974	66,47083	81,55973	80,14293	81,82402
Mačkavost za mokra UNET- útek					
koncentrace kyseliny citrónové (g/l)	0	25	50	75	100
1	100	111	105	118	117
2	108	104	102	117	117
3	105	97	104	109	111
4	109	100	98	117	112
5	102	105	105	116	115
průměr	105	103	103	115	114
směrodatná odchylka	3,834058	5,319774	2,949576	3,646917	2,792848
IS+	108,3606	107,6629	105,5854	118,1966	116,448
IS-	101,6394	98,3371	100,4146	111,8034	111,552
Mačkavost za sucha UNET- osnova					
koncentrace kyseliny citrónové (g/l)	0	25	50	75	100
1	54	52	70	65	65

2	59	58	75	60	69
3	58	56	78	72	73
4	57	50	76	69	62
5	58	51	68	72	72
průměr	57	53	73	68	68
směrodatná odchylka	1,923538	3,435113	4,219005	5,128353	4,658326
IS+	58,68602	56,01095	76,69805	72,49512	72,08313
IS-	55,31398	49,98905	69,30195	63,50488	63,91687
Mačkovost za sucha UNET- útek					
koncentrace kyseliny citrónové (g/l)	0	25	50	75	100
1	87	71	89	91	89
2	86	83	87	88	98
3	88	89	90	83	98
4	85	79	83	95	92
5	90	87	90	95	112
průměr	87	82	88	90	98
směrodatná odchylka	1,923538	7,155418	2,949576	5,07937	8,843076
IS+	88,68602	88,27188	90,58537	94,45218	105,7512
IS-	85,31398	75,72812	85,41463	85,54782	90,24884
Pevnost v tahu - STRIP - útek					
koncentrace kyseliny citrónové (g/l)	0	25	50	75	100
1	328	305	262	215	231
2	312	309	263	216	239
3	338	289	255	227	224
4	332	295	259	227	217
5	315	297	266	210	214
průměr	325	299	261	219	225
směrodatná odchylka	11,13553	8	4,1833	7,648529	10,22252
IS+	334,7605	306,0122	264,6668	225,7041	233,9603
IS-	315,2395	291,9878	257,3332	212,2959	216,0397
Tažnost					
koncentrace kyseliny citrónové (g/l)	0	25	50	75	100
1	17,2	13	13,2	12,5	13,2

2	16,9	14,3	14,1	11	13,3
3	16,6	13,4	13,8	12,4	14
4	16,3	13,5	13,7	11,3	12,8
5	15,5	12,8	13,7	11,3	11,7
průměr	16,5	13,4	13,7	11,7	13
směrodatná odchylka	0,65192	0,578792	0,324037	0,696419	0,845577
IS+	17,07142	13,90732	13,98403	12,31043	13,74117
IS-	15,92858	12,89268	13,41597	11,08957	12,25883

### Kyselina 1,2,3,4- BTCA

Mačkavost za mokra UNET- osnova					
koncentrace kyseliny BTCA (g/l)	0	25	50	75	100
1	68	80	99	88	104
2	65	76	97	102	105
3	62	72	105	93	103
4	66	80	100	95	107
5	65	92	100	90	97
průměr	65	80	100	94	103
směrodatná odchylka	2,167948	7,483315	2,949576	5,412947	3,768289
IS+	66,90026	86,55929	102,5854	98,74457	106,303
IS-	63,09974	73,44071	97,41463	89,25543	99,69701
Mačkavost za mokra UNET- útek					
koncentrace kyseliny BTCA (g/l)	0	25	50	75	100
1	100	110	115	115	121
2	108	108	110	120	125
3	105	112	115	120	127
4	109	110	114	115	130
5	102	105	117	118	130
průměr	105	109	114	118	127
směrodatná odchylka	3,834058	2,645751	2,588436	2,50998	3,781534
IS+	108,3606	111,3191	116,2688	120,2001	130,3146
IS-	101,6394	106,6809	111,7312	115,7999	123,6854
Mačkavost za sucha UNET- osnova					
koncentrace kyseliny BTCA (g/l)	0	25	50	75	100
1	54	62	87	88	92
2	59	64	88	89	78
3	58	64	87	89	99
4	57	79	96	90	96
5	58	76	75	95	91
průměr	57	69	87	90	91

směrodatná odchylka	1,923538	7,874008	7,503333	2,774887	8,043631
IS+	58,68602	75,90175	93,57684	92,43225	98,05042
IS-	55,31398	62,09825	80,42316	87,56775	83,94958
<b>Mačkovost za sucha UNET- útek</b>					
koncentrace kyseliny BTCA (g/l)	0	25	50	75	100
1	87	82	99	118	112
2	86	94	100	112	113
3	88	92	102	116	113
4	85	89	103	114	116
5	90	93	105	116	121
průměr	87	90	102	115	115
směrodatná odchylka	1,923538	4,84768	2,387467	2,280351	3,674235
IS+	88,68602	94,2491	104,0927	116,9988	118,2205
IS-	85,31398	85,7509	99,90733	113,0012	111,7795
<b>Pevnost v tahu - STRIP - útek</b>					
koncentrace kyseliny BTCA (g/l)	0	25	50	75	100
1	328	267	221	193	185
2	312	260	211	196	187
3	338	275	213	195	193
4	332	268	220	185	196
5	315	275	210	196	184
průměr	325	269	215	193	189
směrodatná odchylka	11,13553	6,284903	5,147815	4,636809	5,244044
IS+	334,7605	274,5089	219,5122	197,0643	193,5965
IS-	315,2395	263,4911	210,4878	188,9357	184,4035
<b>Tažnost</b>					
koncentrace kyseliny BTCA (g/l)	0	25	50	75	100
1	17,2	13	13,2	12,1	11,2
2	16,9	14,3	13,7	11	12
3	16,6	13,2	13,8	12,4	11,6
4	16,3	13,5	13,1	11,2	11,1
5	15,5	13	13,2	11,3	11,1
průměr	16,5	13,4	13,4	11,6	11,4
směrodatná odchylka	0,65192	0,543139	0,324037	0,612372	0,3937
IS+	17,07142	13,87607	13,68403	12,13676	11,74509
IS-	15,92858	12,92393	13,11597	11,06324	11,05491

**DMDHEU**

<b>Mačkovost za mokra UNET- osnova</b>					
koncentrace DMDHEU (g/l)	0	25	50	75	100
1	68	82	80	92	105
2	65	80	80	91	103
3	62	73	82	92	109

4	66	80	91	95	110
5	65	79	79	98	106
průměr	65	79	82	94	107
směrodatná odchylka	2,167948	3,420526	4,929503	2,880972	2,880972
IS+	66,90026	81,99817	86,32082	96,52524	109,5252
IS-	63,09974	76,00183	77,67918	91,47476	104,4748
Mačkovost za mokra UNET- útek					
koncentrace DMDHEU (g/l)	0	25	50	75	100
1	100	110	122	119	126
2	108	110	118	126	130
3	105	112	120	122	132
4	109	111	117	125	136
5	102	114	114	124	138
průměr	105	111	118	123	132
směrodatná odchylka	3,834058	1,67332	3,03315	2,774887	4,774935
IS+	108,3606	112,4667	120,6586	125,4323	136,1853
IS-	101,6394	109,5333	115,3414	120,5677	127,8147
Mačkovost za sucha UNET- osnova					
koncentrace DMDHEU (g/l)	0	25	50	75	100
1	54	72	75	90	87
2	59	64	72	84	94
3	58	75	82	94	103
4	57	76	89	90	102
5	58	67	79	85	102
průměr	57	71	79	89	98
směrodatná odchylka	1,923538	5,167204	6,580274	4,09878	6,94982
IS+	58,68602	75,52917	84,76776	92,59267	104,0917
IS-	55,31398	66,47083	73,23224	85,40733	91,90833
Mačkovost za sucha UNET- útek					
koncentrace DMDHEU (g/l)	0	25	50	75	100
1	87	85	95	111	115
2	86	90	103	108	115
3	88	95	108	115	121
4	85	94	108	112	117
5	90	96	108	116	125
průměr	87	92	104	112	119
směrodatná odchylka	1,923538	4,527693	5,683309	3,209361	4,335897
IS+	88,68602	95,96862	108,9815	114,8131	122,8005
IS-	85,31398	88,03138	99,01845	109,1869	115,1995
Pevnost v tahu - STRIP - útek					
koncentrace DMDHEU (g/l)	0	25	50	75	100
1	328	184	160	152	136
2	312	181	163	151	141

3	338	177	157	158	140
4	332	170	155	152	137
5	315	178	160	147	136
průměr	325	178	159	152	138
směrodatná odchylka	11,13553	5,244044	3,082207	3,937004	2,345208
IS+	334,7605	182,5965	161,7016	155,4509	140,0556
IS-	315,2395	173,4035	156,2984	148,5491	135,9444
<b>Tažnost</b>					
koncentrace DMDHEU (g/l)	0	25	50	75	100
1	17,2	10,8	9,73	8,86	8,23
2	16,9	11,2	9,95	8,89	8,39
3	16,6	10,8	9,65	9,36	9,02
4	16,3	10,5	9,39	9,47	8,45
5	15,5	10,7	9,73	9,12	8,21
průměr	16,5	10,8	9,69	9,14	8,46
směrodatná odchylka	0,65192	0,254951	0,201494	0,273222	0,329393
IS+	17,07142	11,02347	9,866614	9,379485	8,748721
IS-	15,92858	10,57653	9,513386	8,900515	8,171279

**Tabulky naměřených hodnot pro porovnání optimální úpravy  
kyselinou 1,2,3,4- BTCA s DMDHEU a původní  
nezušlechtěnou tkaninou**

Mačkavost za mokra UNET - osnova	původní	původní po praní	optimální BTCA	optimální BTCA po praní	DMDHEU	DMDHEU po praní
	68	78	98	105	77	113
	71	76	88	101	86	109
	63	74	95	110	79	103
	58	68	87	98	73	105
	65	74	97	96	75	100
průměr	65	74	93	102	78	106
směrodatná odchylka	4,949747	3,741657	5,1478151	5,612486	5	5,09902
IS-	60,66143	70,72035	88,487824	97,08053	73,61739	101,5306
IS+	69,33857	77,27965	97,512176	106,9195	82,38261	110,4694
Mačkavost za mokra UNET - útek	původní	původní po praní	optimální BTCA	optimální BTCA po praní	DMDHEU	DMDHEU po praní
	98	110	129	146	122	144
	91	117	123	145	125	139
	79	116	127	140	120	144
	89	108	120	135	120	144
	93	119	111	134	113	139
průměr	90	114	122	140	120	142

směrodatná odchylka	7	4,743416	7,0710678	5,522681	4,41588	2,738613
IS -	83,86434	109,8423	115,80205	135,1592	116,1294	139,5995
IS +	96,13566	118,1577	128,19795	144,8408	123,8706	144,4005
Mačkovost za sucha UNET - osnova	původní	původní po praní	optimální BTCA	optimální BTCA po praní	DMDHEU	DMDHEU po praní
	63	50	86	79	73	74
	59	49	80	81	66	73
	55	43	78	73	69	78
	60	47	81	73	70	71
	63	41	85	74	62	69
průměr	60	46	82	76	68	73
směrodatná odchylka	3,316625	3,872983	3,391165	3,741657	4,1833	3,391165
IS -	57,0929	42,60524	79,027567	72,72035	64,33324	70,02757
IS +	62,9071	49,39476	84,972433	79,27965	71,66676	75,97243
Mačkovost za sucha UNET - útek	původní	původní po praní	optimální BTCA	optimální BTCA po praní	DMDHEU	DMDHEU po praní
	84	67	109	95	97	90
	83	71	101	97	100	88
	97	73	102	88	102	92
	96	74	108	87	95	93
	90	75	110	88	96	87
průměr	90	72	106	91	98	90
směrodatná odchylka	6,519202	3,162278	4,1833001	4,636809	2,915476	2,54951
IS -	84,28577	69,22819	102,33324	86,93573	95,44452	87,7653
IS +	95,71423	74,77181	109,66676	95,06427	100,5555	92,2347
Pevnost v tahu STRIP - útek (N)	původní	původní po praní	optimální BTCA	optimální BTCA po praní	DMDHEU	DMDHEU po praní
	333	341	242	230	197	172
	339	348	236	239	189	179
	326	337	238	240	205	175
	329	336	245	236	204	168
	328	348	234	235	200	166
průměr	331	342	239	236	199	172
směrodatná odchylka	5,147815	5,787918	4,472136	3,937004	6,442049	5,244044
IS -	326,4878	336,9268	235,08007	232,5491	193,3534	167,4035
IS +	335,5122	347,0732	242,91993	239,4509	204,6466	176,5965
Tažnost - útek (%)	původní	původní po praní	optimální BTCA	optimální BTCA po praní	DMDHEU	DMDHEU po praní
	16,43	17,86	7,49	8,15	6,02	7,65
	15,42	19	7,86	7,78	6,34	7,91

	15,36	17,67	7,38	7,48	6,76	7,59
	15,28	18,73	7,29	7,43	6,72	8,48
	16,51	18,74	7,63	7,96	5,96	6,92
průměr	15,8	18,4	7,53	7,76	6,36	7,71
směrodatná odchylka	0,614288	0,593507	0,223942	0,30814	0,376032	0,564579
IS -	15,26156	17,87978	7,3337098	7,489909	6,0304	7,215133
IS +	16,33844	18,92022	7,7262902	8,030091	6,6896	8,204867
Pevnost v dotržení ELMENDORF (N)	původní	původní po praní	optimální BTCA	optimální BTCA po praní	DMDHEU	DMDHEU po praní
	10,8	8,39	5,26	5,05	4,43	3,91
	9,64	8,31	5,43	4,86	4,22	4
	9,74	7,56	4,89	4,96	4,02	3,4
	9,64	7,61	5,16	5,15	3,88	3,41
	10,18	7,38	5,16	4,73	3,85	3,33
průměr	10	7,85	5,18	4,95	4,08	3,61
směrodatná odchylka	0,4998	0,465242	0,1960867	0,163248	0,244233	0,318041
IS -	9,561914	7,442205	5,0081256	4,806909	3,865924	3,33123
IS +	10,43809	8,257795	5,3518744	5,093091	4,294076	3,88877
Tuhost - útek (mN)	původní	původní po praní	optimální BTCA	optimální BTCA po praní	DMDHEU	DMDHEU po praní
	6,66	8,8	7,47	6,35	7,56	6,38
	6,47	8,93	7,12	6,83	7,24	6,05
	6,87	9,12	6,96	7,02	7,26	6,24
	7,02	8,84	7,36	7,15	6,83	6,42
	7,33	9,46	7,39	6,5	6,76	6,51
průměr	6,87	9,03	7,26	6,77	7,13	6,32
směrodatná odchylka	0,330983	0,270185	0,2124853	0,339043	0,331964	0,179583
IS -	6,579886	8,793177	7,0737519	6,472821	6,839026	6,162592
IS +	7,160114	9,266823	7,4462481	7,067179	7,420974	6,477408
Běl bergerová	původní	původní po praní	optimální BTCA	optimální BTCA po praní	DMDHEU	DMDHEU po praní
	86,49		82,32		85,46	
	87,88		81,16		83,48	
	89,12		82,45		83,49	
	86,34		82,05		85,49	
	87,52		81,92		84,88	
průměr	87,47		81,98		84,56	
směrodatná odchylka	1,132519		0,5043312		1,011014	
IS-	86,47732		81,537942		83,67382	
IS +	88,46268		82,422058		85,44618	